

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Problematika galvanického zinkování tvářeného čepu automobilového dílce

## The Problems of Galvanic Zinc Coating the Wrought Peg at Automobile Part

Student:

Mgr. Jan Heto

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Xenie Ševčíková

Ostrava 2011

## Zadání diplomové práce

Student:

**Mgr. Jan Heto**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

**Problematika galvanického zinkování tvářeného čepu automobilového dílce**  
**The Problems of Galvanic Zinc Coating the Wrought Peg at Automobile Part**

Zásady pro vypracování:

1. Specifikace problematiky galvanického vylučování Zn povlaků, hodnocení současného stavu.
2. Návrh experimentálních prací se zaměřením na identifikaci příčin vzniku defektů galvanického Zn povlaku v oblasti tvářené plochy čepu automobilového dílce v návaznosti na výrobní praxi.
3. Provedení experimentů, včetně přípravy vzorků pro metalografická šetření kritických oblastí.
4. Vyhodnocení experimentů, návrh technologického postupu vedoucí k eliminaci vad galvanického Zn povlaku.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

CYRUS, Z., CHOCHOLOUŠEK, J., KRISTOFORY, F. a VÍTEK, J. *Kurz galvanizérů 1*. Učební texty a návody do cvičení, 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 144 s.  
KRISTOFORY, F., SZELAG, P., TAITLOVÁ, J. a ŠULC, I. *Kurz galvanizérů 2*. Učební texty a návody do cvičení. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 108 s.  
STRAUCH, A. *Galvanotechnisches Fachwissen*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1987, 511 s.  
PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikoročních ochranných prostředků strojírenských výrobků*. Praha: SNTL, 1985, 288 s.  
BARTL, D. O., MUDROCH, O. *Technologie chemických a elektrochemických povrchových úprav, I. díl*. Praha: SNTL, 1956, 448 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Xenie Ševčíková**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



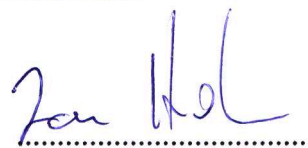
  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23. května 2011



.....  
podpis studenta

## **Anotace diplomové práce**

HETO, J. *Problematika galvanického zinkování tvářeného čepu automobilového dílce*. Ostrava: Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, 63 s. Diplomová práce, vedoucí Ševčíková, X.

Diplomová práce se zabývá defekty galvanicky vyloučeného zinkového povlaku v oblasti tvářené plochy čepu automobilového dílce - nájezdu bočních dveří, a vlivem těchto vad na korozní odolnost při korozní zkoušce neutrální solnou mlhou. Pro identifikaci příčin defektů bylo provedeno mikroskopické hodnocení struktury povlaku a analýza chemického složení na rozhraní základní materiál - povlak. Podle výsledků analýzy jsou na rozhraní přítomny nečistoty typu okují se zbytky kalícího oleje, které vznikají během kalení narušením atmosféry pece. Operace omílání čepů, která má tyto nečistoty odstranit, není dostatečně účinná pro jejich odstranění z hůře přístupného středícího důlku čepu. Nečistoty jsou při roznýtování čepu zatlačovány do materiálu a jsou příčinou vzniku vad povlaku. Řešením nepravidelně se opakujících vad povlaku je změna technologie omílání kalených čepů.

## **Annotation of Thesis**

HETO, J. *The Problems of Galvanic Zinc Coating the Wrought Peg at Automobile Part*. Ostrava: Department of Mechanical Technology, Faculty of Mechanical Engineering VSB-Technical University Of Ostrava, 2011, 63 p. Thesis, head: Ševčíková, X.

This thesis deals with defects in electroplated zinc coating in the pivot area of an automotive part, and the influence of these defects on the corrosion resistance in a neutral salt spray corrosion test. To identify the causes of defects a microscopic evaluation of the coating structure and chemical composition analysis on the base material - coating boundary were performed. According to this analysis there are contaminants (cinder) present at the boundary, probably with remnants of quenching oil, which were formed during the quenching when the controlled atmosphere of the furnace was disrupted. Tumbling performed to remove these impurities is not efficient enough to remove them from the less accessible areas. Impurities are then pushed into the material and subsequently are the cause of coating defects. The solution for preventing these irregularly recurring defects is changing the technology of tumbling.

# Obsah diplomové práce

Seznam použitých značek a symbolů .....	6
1 Úvod.....	7
2 Cíle práce .....	8
3 Přehled současného stavu řešené problematiky .....	9
3.1 Galvanické zinkování.....	9
3.1.1 Obecné zákonitosti elektrochemického vylučování kovů.....	10
3.1.2 Lázně pro galvanické zinkování .....	12
3.1.3 Předúpravy základního materiálu .....	14
3.1.4 Dodatečné úpravy zinkových povlaků.....	16
3.1.5 Požadavky na zinkový povlak .....	17
3.2 Korozně - ochranné vlastnosti zinkového povlaku.....	18
3.2.1 Mechanismy ochrany .....	18
3.2.2 Druhy koroze .....	19
3.2.3 Koroze zinku.....	21
3.2.4 Korozní zkoušky .....	22
3.2.5 Vliv galvanického pokovení na vodíkovou křehkost.....	23
4 Zhodnocení současného stavu výroby nájezdu GM2 .....	25
4.1 Výroba nájezdu GM2.....	26
4.1.1 Materiál nájezdu.....	26
4.1.2 Technologie výroby nájezdu GM2 .....	27
4.1.3 Povrchová úprava nájezdu GM2.....	33
4.2 Současný stav ve firmě GALVAN CZ .....	34
4.2.1 Nasazení a údržba zinkovací lázně .....	35
4.2.2 Technologie zinkování nájezdů GM2.....	36
5 Experimentální část.....	39
5.1 Metodika experimentálních prací a použitá zařízení .....	39
5.1.1 Zobrazovací zařízení.....	39
5.1.2 Postup přípravy vzorků pro metalografii .....	40
5.1.3 Zkouška korozní odolnosti.....	43
5.2 Výsledky experimentálních prací .....	45
5.2.1 Makroskopické hodnocení nájezdu a jeho povlaku .....	45
5.2.2 Tloušťka povlaku .....	47
5.2.3 Dokumentace rozhraní základní materiál - povlak .....	48
5.2.4 Chemická analýza vybraných míst rozhraní základní materiál - povlak .....	50
5.2.5 Zkouška korozní odolnosti nájezdů .....	52
6 Diskuze výsledků experimentu .....	59
7 Závěr .....	61
Použitá literatura .....	62

## Seznam použitých značek a symbolů

označení	význam
BSE	detekce zpětně odražených elektronů
EDS	energievě-disperzní spektroskopie
NSS	zkouška v neutrální solné mlze
REM	elektronový rastrovací mikroskop
SE	detekce sekundárních elektronů
WDS	vlnově disperzní spektroskopie

# 1 Úvod

Při povrchových úpravách automobilových dílců existují často stejně náročné požadavky na tak rozdílné vlastnosti povlaku jako je odolnost proti korozi, odolnost proti mechanickému opotřebení a schopnost zachování dekorativního vzhledu. Vzhled dílců a jejich odolnost proti korozi je pro zákazníka samozřejmostí, odolnost proti opotřebení povlaku je významná u dílců, které tvoří části podsestav spojovaných lisováním nebo nýtováním, nebo u takových dílců, které jsou v procesu povrchových úprav volně sesypávány do přepravních palet. Kromě technické způsobilosti má povrchová úprava dílců zajistit také ekonomičnost výroby a ekologickou nezávadnost.

Pro naplnění takto široce pojatých požadavků na dílce určené pro automobilový průmysl je vhodným způsobem povrchových úprav aplikace galvanicky vyloučených povlaků zinku kombinovaných s dalšími vrstvami a povlaky. Zinkování z celkového objemu galvanicky chráněných ocelí a litiny zaujímá téměř poloviční podíl. Jedním z důvodů je právě automobilový průmysl, který v oboru galvanotechniky určuje hlavní směry rozvoje, a který přestal používat složité povlakové systémy měď-nikl-chróm a orientuje se téměř výhradně na zinkování. Dalším důvodem vyššího podílu zinkování automobilových dílců je nižší cena zinku a nepříjemnost ekologicky nevhodného kadmiování.

Diplomová práce se zabývá defekty galvanického Zn povlaku v oblasti tvářené plochy čepu automobilového dílce - nájezdu bočních dveří, a vlivem těchto vad na korozní odolnost nájezdu při korozní zkoušce solnou mlhou.

## 2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je identifikace příčin vzniku defektů galvanického zinkového povlaku na orbitálně tvářené ploše čepu nájezdu bočních dveří označovaného jako nájezd GM2. Na ploše čepu tvářené nýtováním během výroby nájezdu se v nepravidelných intervalech objevují degradační vady galvanicky vyloučeného Zn povlaku ve formě puchýřů, jež narušují dekorativní vzhled, celistvost a rovnoměrnost Zn povlaku nájezdu a jsou místem vzniku koroze.

K dosažení cíle práce byly na základě zadání diplomové práce provedeny následující měření a experimenty:

- kontrola povrchu základního materiálu čepu před povrchovou úpravou,
- vizuální makroskopická kontrola rovnoměrnosti vyloučení povlaku a přítomnosti defektů povlaku,
- mikroskopické hodnocení struktury povlaku, přítomnosti defektů a přilnavosti povlaku,
- měření tloušťky povlaku,
- analýza chemického složení na rozhraní základní materiál - Zn povlak,
- zkouška korozní odolnosti solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227.



### 3 Přehled současného stavu řešené problematiky

Na řadě dílců určených pro automobily (šrouby, spojky, matice, závěsy apod.) je povrchová úprava provedena elektrolytickým zinkováním. Povlaky zinku a jeho slitin jsou většinou používány jako povrchová úprava materiálu, která chrání základní ocelový materiál proti korozi. Pro další zvýšení protikorozní ochrany povlaku jsou tyto povlaky následně upravovány dalšími vrstvami a povlaky. Tyto systémy povrchové úpravy tak společně zajišťují dostatečnou ochranu dílců po celou dobu životnosti automobilu i za extrémních podmínek a namáhání.

Důvodem, proč jsou právě zinkové povlaky dnes jednou z nejrozšířenějších povrchových úprav automobilových dílců, je to, že zinek chrání povrch železných předmětů na principu katodické ochrany. Zinek vzhledem ke svému elektrochemickému postavení vůči železu reaguje s běžným korozním prostředím přednostně před železem. To je výhodné zejména za přítomnosti místních poškození hran nebo závitů pozinkovaných součástí s povrchovou úpravou vytvářenou metodami hromadného pokovení.

#### 3.1 Galvanické zinkování

Galvanické zinkování je elektrochemický děj, při kterém se na vodivé materiály elektrolyticky vyloučí povlak zinku. Je jednou z nejčastějších metod povrchové úpravy kovů sloužící především jako ochrana ocelí a litiny proti korozi.

Tabulka 1 Povrchová úprava ocelových dílů používaných v automobilovém průmyslu v Evropě [1]

Typy povrchových úprav	Základní vlastnosti	Typické použití
žárově zinkované díly	standardní vlastnosti zinkovaných dílů	převážně díly, které nejsou viditelné
ferozinkové díly	dobrá svařitelnost a přilnavost nátěrových hmot	karoserie a díly, které nejsou viditelné
elektrolyticky zinkované díly	standardní vlastnosti zinkovaných dílů	karoserie, drobné spojovací prvky
elektrolyticky pokovené díly slitinovým povlakem Zn/Ni	zlepšená svařitelnost	karoserie
elektrolyticky pokovené díly slitinovým povlakem Zn/Ni s nátěrovým systémem	zvýšená korozní odolnost	karoserie
hliníkozinkové povlaky, slitina cín-olovo + povlak niklu atd.	korozní odolnost k palivům	palivové nádrže

Povrchové úpravy s obsahem zinku jsou povlaky, které mohou být vytvořeny elektrolyticky, neelektrolyticky (ponorem v tavenině, nástřikem taveniny, termodifúzí, depozicí ve vakuu nebo jako složka nátěrových hmot) nebo mechanicky (plátováním). Zinkové povlaky jsou typické anodické povlaky poskytující základnímu kovu katodickou a bariérovou ochranu. Ochrana zinkováním se používá jak pro celé výrobky, tak pro polotovary, zvláště tam, kde jsou povrchy vystaveny vlivům atmosféry nebo vody. Příklady použití povlaků s obsahem zinku v automobilovém průmyslu ukazuje tabulka 1.

### 3.1.1 Obecné zákonitosti elektrochemického vylučování kovů

Proces katodického vylučování povlaku čistého kovu je založen na schopnosti elektrolytické disociace iontových látek (solí, kyselin a zásad) na jednotlivé ionty. Tento děj probíhá ve dvou krocích [2]:

1. rozklad krystalové mřížky - molekuly rozpouštědla (nejčastěji voda) vytrhávají z mřížky jednotlivé atomy,
2. solvatace - molekuly rozpouštědla obalují (v případě vody hydratují) atomy látky.

Vzniklé volně pohyblivé ionty mají buď nedostatek, nebo přebytek elektronů. V případě zinkování probíhá elektrolytická disociace nejčastěji používané základní soli, síranu zinečnatého, dle reakčního schématu [3]:



Po připojení daného stejnosměrného napětí na vložené elektrody jsou kladně nabitě kovové ionty na záporné katodě redukovány přijetím elektronů na elektroneutrální kovové atomy [3]:



Ty jsou následně zabudovány do krystalové mřížky a tak vyloučeny z roztoku za vzniku kovového povlaku katody.

Pro průběh elektrolýzy musí na kladné anodě probíhat oxidační reakce. Tou může být oxidace záporně nabitých aniontů přítomných v roztoku s případným vylučováním jejich

oxidačních produktů (např. molekulárního kyslíku  $O_2$ ), nebo v případě kovové (zinkové) anody oxidace atomů kovu na fázovém rozhraní elektroda-roztok dle reakční rovnice [3]:



s následným přechodem kationtů  $Zn^{2+}$  do roztoku. Tato anodická reakce (3) je z hlediska praktického provedení elektrolýzy velmi žádoucí, neboť umožňuje doplňování kovu vyloučeného na katodě kontinuálním rozpouštěním anody.

Kvantitativní stránku galvanického vylučování popisují Faradayovy zákony, které umožňují stanovit závislost látkového výtěžku elektrodových reakcí a průchozího elektrického proudu. Jelikož při pokovování probíhají ještě další reakce (vylučování vodíku a kyslíku, zahřívání lázně), zavádí se katodický (resp. anodický) proudový účinek, jehož hodnota je určována experimentálně jako poměr skutečného a teoretického množství vyloučeného (rozpuštěného) kovu vypočteného podle prošlého náboje. Pro praktické použití ze zákonů vyplývají vztahy pro stanovení tloušťky povlaku a doby vylučování. Pro sledování technologických parametrů byla zavedena katodická (resp. anodická) proudová hustota jako hodnota proudu procházejícího plošnou jednotkou katody (resp. anody). Proudová hustota spolu s proudovým účinkem určují rychlost vylučování povlaku.

Vlastní povlak zinku vzniká zabudováním neutrálního atomu Zn po katodické redukci iontu  $Zn^{2+}$  do krystalové mřížky katody. Proces je řízený poměrem rychlosti vzniku zárodků a rychlostí a směrem jejich růstu. Je snahou vytvořit takové podmínky, aby vzniklý povlak byl jemnozrný (tvořen drobnými krystaly), kompaktní, houževnatý a nepórovitý. Jemnozrnnosti povlaku se dosáhne nízkou krystalizační rychlostí a vysokou rychlostí tvoření krystalizačních center. Podmínkami ovlivňujícími rychlost vzniku zárodků a jejich růstu jsou složení lázně, teplota, hodnota pH lázně, množství inhibitorů v roztoku a především proudová hustota daná přepětím.

První zárodky povlaku se vytvářejí na výčnělcích a trhlinách. Omezením těchto center se dosáhne leštění povrchu před pokovením. Rychlost tvorby povlaku roste se zvyšováním teploty lázně a proudové hustoty. Ale při překročení optimálních hodnot pro určitou lázeň vznikají povlaky hrubě krystalické a s malou přilnavostí k základnímu materiálu. K zabránění narůstání rozměrných krystalů se do roztoku přidávají leskutvorné přísady. Díky těmto přísadám lze vytvářet lesklé povlaky přímo z lázně. Další možností k vytvoření

lesklého povlaku je reverzační zapojení. Principem je střídání polarity na elektrodách. Zboží je nejdříve zapojeno jako katoda a vylučuje se na něm zinek. Při změně polarity na anodické zapojení se zinek rozpouští vyšší rychlostí právě z vrcholků nerovností. Tím se povrch vyhlazuje a vzniká lesklý povlak.

Na výsledek galvanické zinkování má velký vliv proudová hustota. Katodická proudová hustota udává podíl proudu na plochu pokovovaného zboží. Aby se zkrátil čas potřebný na pokovení, měla by být proudová hustota co nejvyšší. Každá lázeň má svou kritickou hodnotu proudové hustoty, po jejímž překročení klesá kvalita povlaku. Dochází k prudkému vylučování vodíku a vzniká houbovitý povlak. Je-li naopak proudová hustota příliš malá, může dojít k úplnému zastavení vylučování. Anodová proudová hustota je podíl pokovovacího proudu a plochy anody. Při překročení kritické proudové hustoty dochází vlivem chemických reakcí zablokování rozkladu anody. Na povrchu se vytvoří pasivní vrstva zabraňující rozpouštění kovu.

### **3.1.2 Lázně pro galvanické zinkování**

Lázněmi pro galvanické zinkování jsou výlučně vodné roztoky buď jednoduchých solí (zinek je vázán ve formě hydratovaného zinečnatého kationu  $\text{Zn}^{2+} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) nebo komplexních zinkových solí. První skupinu tvoří lázně kyselé, druhou skupinu tvoří lázně alkalické kyanidové a alkalické bezkyanidové.

Kovové ionty jsou do roztoku plynule uvolňovány reakcí podle rovnice (3) na zinkové anodě. Dalšími složkami lázně jsou obvykle anorganické sloučeniny, které stabilizují hodnotu pH, upravují vodivost lázně, její proudovou a hloubkovou účinnost. Struktura vyloučeného kovu je upravována přísadou obvykle organických, specificky působících látek ovlivňující velikost a uspořádání vylučovaných krystalů kovu. Zinkové povlaky na oceli se vylučují bez mezivrstev. V technické praxi se v současné době používají tři základní typy lázní [4, 5]:

#### **Alkalické kyanidové lázně**

Alkalické kyanidové lázně mají výborné technologické vlastnosti a lze je použít k vylučování kvalitních povlaků v širokém rozmezí katodových proudových hustot. Jsou provozně stabilní a mají výbornou hloubkovou účinnost. Nejsou náročné na předúpravu

povrchu před pokovením. Jejich hlavní nevýhodou je hygienická a ekologická nebezpečnost kyanidů. V kyanidových lázních je zinek vázán v komplexním kyanidu zinečnato-sodném a v zinečnatanu sodném. Používají se v případech pokovení tvarově členitých předmětů a předmětů s kapilárními dutinami, protože nevypláchnutý elektrolyt není agresivní k oceli.

### **Alkalické nekyanidové lázně**

Alkalické nekyanidové lázně ve spojení s vhodnými komplexotvornými přísadami vytvářejí rovnoměrné povlaky, mají dobrou hloubkovou účinnost a krycí schopnost. Obsah zinku v lázních je nejnižší ze všech zinkovacích elektrolytů, což znamená minimalizaci jeho výnosu z lázně. K nevýhodám lázní patří nižší vylučovací rychlost, nízká teplotní odolnost lázní a horší mechanické vlastnosti povlaků. Nižší katodové proudové výtěžky vylučování zinku při vyšších proudových hustotách vyvolávají riziko navodíkování základního ocelového materiálu.

### **Slabě kyselé lázně**

Slabě kyselé lázně jsou dnes nejrozšířenější technologií galvanického zinkování. Z hlediska vzhledových vlastností vytvářejí nejkvalitnější povlaky ze všech zinkovacích elektrolytů. Mají vysokou vyrovnávací schopnost, poměrně dobrou hloubkovou účinnost a provozní spolehlivost. K dalším výhodám patří snadná oplachovatelnost zboží a nízké náklady na provoz. Vyloučené povlaky jsou lesklé, tažné a s nízkým vnitřním pnutím. Katodový proudový výtěžek je v celém rozsahu použitelných proudových hustot vyšší než 95 %. Nevýhodou je náročnost na kvalitu předúpravy povrchu a citlivost na znečištění lázně ionty těžkých kovů. K nevýhodám patří také agresivita lázně vůči oceli způsobující korozi součástí s kapilárními štěrbinami. Lázně jsou vhodné jak pro závěsové, tak hromadné pokovení.

Základními složkami slabě kyselých lázní jsou u starších typů chlorid amonný a chlorid nebo síran zinečnatý. U nových typů lázní je to chlorid zinečnatý a chlorid draselný. Důležitou složkou lázní je kyselina boritá působící jako tlumič pH, soli organických karboxylových kyselin a leskutvorné přísady. Poměr  $\text{Zn}^{2+}$  a  $\text{Cl}^-$  iontů je 1:4, hodnota pH lázně je v rozmezí 4,2 – 5,5. Provozní teplota lázní je v rozmezí teplot (15 - 45) °C.

### 3.1.3 Předúpravy základního materiálu

Pokovované předměty vinou specifik při začleňování iontů do krystalové mřížky katody vyžadují vysokou čistotu a aktivitu povrchu. Na kvalitě povrchu závisí přilnavost povlaku, stejnoměrný vzhled i odolnost proti korozi nebo opotřebení. Cílem předběžných úprav je případně také změna mikrogeometrie povrchu základního materiálu. Požadovaná kvalita povrchu je dosahovaná mechanickými a chemickými předúpravami, případně jejich kombinací.

#### Mechanické předúpravy

Mechanické předúpravy čistí upravované předměty od korozních produktů, písku apod., upravují drsnost povrchu nebo ho zpevňují. Požadovaného stavu povrchu se nejčastěji dosahuje kartáčováním, broušením, leštěním, otryskáním nebo omíláním.

#### Odmašťování

Odmašťování kovů se provádí k odstranění nečistot z povrchu součástí, které by vadily dalšímu zpracování v následujících technologických úpravách. Odmaštěním se odstraňují fyzikálně vázané nečistoty (tuky, prachové částice, zbytky po otryskání apod).

Nejrozšířenější metodou je chemické odmaštění v alkalických vodných roztocích. Odmašťovací prostředky jsou na bázi hydroxidu sodného, fosforečnanu sodného, křemičitanů, které jsou obohaceny povrchově aktivními látkami - tenzidy. V současnosti jsou popsané alkalické složky nahrazovány boritany a polyfosfáty. Účinnost odmaštění může být zvýšena elektrickým proudem. Při elektrolytickém odmaštění kyslík nebo vodík vylučovaný na povrchu mechanicky rozrušuje vrstvu olejového filmu a strhává ho do roztoku. Katodické odmašťování je účinnější než odmašťování anodické vlivem většího mechanického účinku vodíku, kterého se na katodě vyvine dvojnásobné množství než kyslíku na anodě. Při kombinovaném elektrolytickém odmašťování se po katodickém cyklu elektrody přepólují na cyklus anodický. Pro ocelové předměty je dostačující cyklus anodický, při kterém dochází i k částečnému naleptání povrchu, takže povlak může lépe přilnout. Zároveň při něm nedochází k navodíkování oceli.

Novou technologií je odmaštění vodnými tenzidovými prostředky. Jde o slabě alkalické prostředky s nízkým obsahem solí a s přidavkem tenzidových přípravků. Provozní teploty jsou oproti alkalickým vodným prostředkům podstatně nižší (okolo 50 °C) s poměrně krátkou dobou odmašťování v rozsahu (1-10) minut.

Důležitou změnou v technologii odmašťování týkající se galvanického zinkování je používání nových typů maziv a konzervačních látek při výrobě součástí pro automobilový průmysl. K výrobě mazadel, tvářecích a konzervačních prostředků je používána řada nových surovin, které se mohou stát problémem při následném odmašťování. Produkty štěpení těchto látek jsou velmi reaktivní a snadno se spojují do polymerních sloučenin, které se obtížně odstraňují běžnými prostředky a vyžadují komplikovanější technologie odmaštění. Je proto vhodné provést odmaštění co nejdříve po dokončení tvářecích operací, kdy je stupeň polymerace těchto sloučenin nízký.

## **Moření**

Mořením se odstraňují okuje a korozní produkty rozpuštěním v kyselinách. U slitin na bázi zinku a hliníku lze moření provádět i v alkalických roztocích. Obecně platí, že na oceli se obtížněji odstraňují kovové oxidy vznikající při tepelném zpracování kovů (okuje) než hydratované oxidy vznikající při atmosférické korozi (rez). Mořením se vytvoří kovově čistý povrch. Používá se rovněž pro úpravu drsnosti povrchu a aktivaci povrchu před dalšími technologickými operacemi nebo na odstranění zmetkových povrchových úprav (např. povlaky Zn a Cr). Ocelové součásti se nejčastěji moří v kyselině sírové nebo chlorovodíkové. Mořicí lázně obsahují pomocné látky, které zrovnoměňují proces moření, přispívají k vyššímu využití kyseliny a potlačují vznik vodíkové křehkosti.

## **Dekapování**

Dekapování je přípravný proces před vlastním zinkováním. Jedná se o krátkodobé moření jehož účelem je aktivace povrchu kovu před pokovením odstraněním pasivních vrstev vzniklých po odmaštění. Někdy je cílem také neutralizace po předchozím pobytu v alkalické lázni. Dekapování před zinkováním se provádí v kyselině chlorovodíkové nebo sírové s přísadami, které urychlují aktivaci a zlepšují rozpustnost oxidů, oplachovatelnost a smáčivost.

### 3.1.4 Dodatečné úpravy zinkových povlaků

Dodatečné úpravy se u povlaků zinku dělají za účelem zlepšení jejich vlastností. Realizují se vytvářením anorganických konverzních vrstev a jiných organických nebo anorganických povlaků. Konverzní vrstvy vznikají chemickou nebo elektrochemickou reakcí kovového povrchu s prostředím, jemuž je kov vystaven. Vzniklá sloučenina obsahuje složky kovu i prostředí, přičemž se tyto vrstvy vytvářejí směrem od povrchu do materiálu. U povlaků zinku jsou to především vrstvy chromátů. Organické nebo anorganické povlaky na zinku zajišťují ochranu bariérovou, popřípadě i katodickou.

#### Pasivace

Pasivace zinkových povlaků jsou metody konverzních úprav bez použití šestimocného chromu  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ . Podle tloušťky povlaku a korozní odolnosti jsou pasivace tenkovrstvé a silnovrstvé. Tenkovrstvé pasivace mají tloušťku vrstvy kolem 0,1  $\mu\text{m}$ . Jelikož trojmocný chrom  $\text{Cr}^{\text{III}}$  tenkovrstvých pasivací není transportovatelný, jsou tak tyto povlaky méně efektivní a používají se v aplikacích, které jsou méně korozně namáhány a kde záleží spíše na vzhledu výrobku [6]. Silnovrstvé pasivace se vytvářejí kombinací vrstev na bázi  $\text{Cr}^{\text{III}}$  s anorganickými pojivy. Dosahují tloušťky (0,3 až 0,5)  $\mu\text{m}$  a s vhodným utěsněním vrstvy jsou srovnatelnou ekologickou alternativou k vrstvám s  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ .

Pasivační vrstvy nepředstavují zásadní korozní bariéru a je často nutné je doplnit dalšími povlaky.

#### Utěsnění Zn povlaku

Utěsnění krycím povlakem má chránit zinkový povlak proti korozi. Koroze zinku je urychlena při přítomnosti vody z okolí (vlhkost vzduchu, vliv prostředí apod.). Proto krycí povlaky tvoří bariéru, která chrání zinek proti vlivu korozních faktorů. Díky krycím povlakům je prodloužen proces elektrochemického ochrany zinkového povlaku a je tak výrazně oddálen počátek korozního napadení základního materiálu. Zároveň dochází k potlačení iridiscence pasivační vrstvy a sjednocení vzhledu.

Utěsnění Zn povlaku je v technologickém toku je zařazeno bezprostředně po oplachu po pasivaci. Povlak se aplikuje máčením nebo stříkáním, a podle typu se případně tepelně



vytvrzuje nebo nanáší v několika vrstvách. Nejrozšířenější utěšňovací povlaky jsou založeny na bázi akrylátových vodou ředitelných laků nebo vodných emulzí ropných produktů nebo jiných organických látek [5].

Příkladem utěšňovacích povlaků jsou povlaky série Deltacoll od firmy Dörken. Obsahují tekuté anorganické krycí laky na elektrolytické povlaky na bázi zinku. Dostupné jsou laky transparentní a černé. Mají široký rozsah možných teplot vytvrzování - od 125 °C do 180 °C [7].

### **3.1.5 Požadavky na zinkový povlak**

Cílem galvanického zinkování není pouze vyloučení určitého množství kovu na základní materiál. Získané povlaky automobilových dílů musí splňovat také celou řadu vzhledových, funkčních a ochranných požadavků [8]:

#### **Vzhledové vlastnosti**

Vzhledové vlastnosti představuje celkový vzhled povrchu, barva a lesk. Jsou rozhodujícími parametry u dekorativních povlaků a důležitou charakteristikou funkčních povlaků. Celkový vzhled zahrnuje vizuální stejnorodost povrchu a je nejčastěji posuzován vizuální kontrolou, při které se hodnotí přítomnost pórů, dutin, trhlin, korozních zplodin apod. Zinkové dekorativní povlaky musí být chráněny transparentními laky, aby nedocházelo k jejich vzhledovým změnám a vzhled tak odpovídal požadavkům na díly pro automobilový průmysl.

#### **Funkční vlastnosti**

Pozinkované výrobky se uplatňují především pro své ochranné a dekorativní vlastnosti. Existují ale také některé vlastnosti funkční, jejichž dodržení hlavního použití součástí podmiňují. Vybrané funkční vlastnosti lze zlepšit vhodnými následnými úpravami.

Drsnost povrchu základního materiálu ovlivňuje lesk povlaku a jeho korozní odolnost. S rostoucí drsností základního materiálu dochází ke vzniku nerovnoměrné tloušťky povlaku a jeho koroznímu selhání v místě s nejmenší tloušťkou. Pevnost a houževnatost povlaku je důležitou podmínkou korozní odolnosti při výrobě součástí z pozinkovaného plechu,

u kterého při tahovém namáhání může dojít k poškození povlaku. Vnitřní pnutí povlaku vznikají v důsledku změn objemu povlaku při jeho vytváření a jejich charakter závisí na druhu lázně a podmínkách pokovení. U zinkových povlaků mají většinou příznivější tlakový charakter. Přílnavost povlaku je významná především při funkčním namáhání součástí. U galvanického zinkování závisí významně na kvalitě předběžných úprav.

### **3.2 Korozně - ochranné vlastnosti zinkového povlaku**

Povlak musí být obecně schopen zajistit ochranu proti korozi způsobenou difúzí korozního prostředí matricí nebo póry v povlaku i proti korozi v místech poškození povlaku. Mezi rozhodujícími faktory ochranných vlastností povlaku patří proto jeho tloušťka a celistvost. Významnost tloušťky se liší podle mechanismu ochranné funkce povlaku. U zinkových povlaků je tzv. minimální místní tloušťka základním parametrem jakosti. Volí se s ohledem na náročnost provozních podmínek, kterým musí povlak odolat vzhledem k typu okolní atmosféry a funkci povlaku. U elektrolytického zinkování dochází obecně k rozdílu tloušťky povlaku. Tloušťka je na hranách a vystupujících místech větší než uprostřed součásti a v prohloubeninách.

Pórovitost zinkových povlaků na oceli má obecně menší význam. Přítomnost pórů a malých defektů nesnižuje příliš kvalitu povlaku, protože póry se zacelí vznikajícími produkty koroze zinku. Pro zinkové povlaky plní zároveň i dekorativní funkci je ale optimální stav, kdy povlak je neporézní, protože k úbytku povlaku dochází po celé ploše, tedy i v místech pórů.

#### **3.2.1 Mechanismy ochrany**

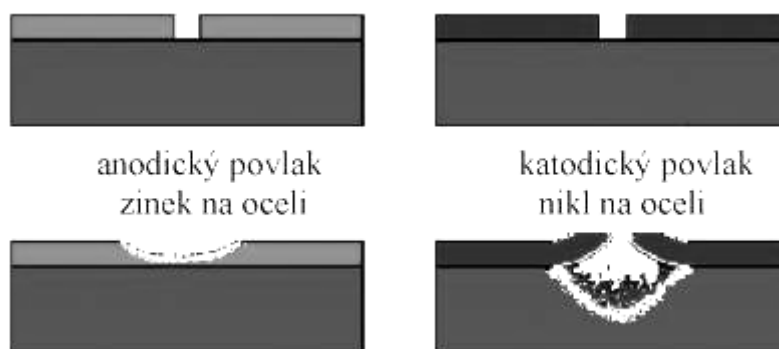
Zinkový povlak primárně zajišťuje ocelovému základnímu materiálu ochranou bariéru, která zabraňuje styku oceli s korozním prostředím. V případě místních nehomogenit zinkové vrstvy (póry, poškrábání, nechráněné hrany apod.) povlak poskytuje i ochranu katodickou. V porušeném místě za přítomnosti elektrolytu (např. dešťové vody) vzniká vlivem rozdílných elektrochemických potenciálů obou kovů miniaturní galvanický článek Fe - Zn, v němž zinek je anodou. Dochází proto přednostně k jeho koroznímu rozpouštění anodickou reakcí [4]:



Na katodě zároveň probíhá nejčastěji kyslíková depolarizace [4]:



Dokud existuje krycí vrstva zinku, zůstává základní kov v místě poškození chráněn. Rozdíl mezi bariérovou ochranou katodickým povlakem a katodickou ochranou anodickým povlakem znázorňuje obr. 1.



Obr. 1 Mechanismy ochrany elektrolytickými povlaky v závislosti na typu povlaku a základního materiálu [9]

Produktem oxidace zinku je pak  $Zn_2O_3$ , který zaujímá větší objem než zinek před oxidací a má snahu zaplnit vzniklou mezeru. Jsou-li korozní zplodiny zinkového povlaku nežádoucí, volí se bariérová ochrana základního materiálu povlakem katodickým z ušlechtlejšího kovu (Ni, Cr) nebo se povlak dále upravuje aplikací dalších vrstev nebo povlaků.

### 3.2.2 Druhy koroze

Koroze je proces postupného znehodnocování materiálů chemickými a fyzikálně-chemickými vlivy prostředí. Hlavní příčinou koroze je z termodynamického hlediska snaha kovu o znovunastolení výchozího rovnovážného stavu poté, co při hutnickém zpracování byla tato rovnováha s vynaložením energie narušena. Fyzikálně chemická povaha procesu odlišuje korozi od mechanických způsobů porušování materiálů, jako je např. abraze [10].

Koroze se podle charakteru probíhajících dějů člení na korozi chemickou (v elektricky nevodivých prostředích) a korozi elektrochemickou (v elektricky vodivých prostředích) [11].

## **Chemická koroze**

Chemická koroze se projevuje v plynech, které mají oxidační nebo redukční povahu a také v bezvodých organických kapalinách. Rychlost koroze je dána vlastnostmi a kvalitou vzniklých korozních zplodin a zvyšuje se s teplotou prostředí. Nejčastějším případem je oxidace kyslíkem, oxidem uhličitým nebo oxidem siřičitým.

## **Elektrochemická koroze**

Elektrochemická koroze vzniká při styku kovů s elektrolytem, tj. roztokem kyselin, zásad a solí. Na povrchu kovu se vlivem nehomogenit vytvářejí katodické a anodické oblasti, na nichž dochází k redukčním a oxidačním reakcím. U anodické reakce dochází k oxidaci kovu, tj. k vlastnímu anodickému rozpouštění kovu a tedy ke korozi. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány složky korozního prostředí spotřebováváním elektronů (vybíjením iontů vodíku nebo redukcí kyslíku rozpuštěného v elektrolytu).

Povrch kovu je nabit záporně a elektrolyt kladně. Na povrchu kovu vzniká určitý potenciální rozdíl, který má vliv na rozpouštění kovu do roztoku. Srovnání se standardním potenciálem vodíkové elektrody dává korozní ušlechtilost daného kovu. Hodnoty standardního potenciálu platí pouze pro počátek koroze do ustavení tzv. polarizace, při které se potenciální rozdíl mezi anodou a katodou zmenší vlivem pokrytí katody vodíkovými ionty bránícími v přístupu dalších iontů. Polarizace na anodě je způsobena usazujícími se produkty koroze.

Z hlediska korozního prostředí má největší význam koroze atmosférická. Základním vlivem na rychlost této koroze je stupeň ovlhčení kovového povrchu, který je daný tloušťkou kondenzované vlhkosti a periodičností dosažení rosného bodu. Rychlost atmosférické koroze je dále závislá na přítomnosti plynných nebo rozpustných tuhých nečistot v prostředí. K nejagresivnějším složkám znečištění atmosféry patří především  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ , prach, popílek a další látky [10].

Koroze se dále rozděluje podle toho, zda napadá celý povrch materiálu nebo porušuje jeho strukturu. Z hlediska napadání celého povrchu materiálu nezávisle na struktuře kovu se dělí podle rovnoměrnosti na rovnoměrnou (plošnou), bodovou (nerovnoměrnou), příp. štěrbinovou.

## **Rovnoměrná koroze**

Rovnoměrná koroze se projevuje stejnoměrným rozpouštěním materiálu po celém povrchu. U tohoto druhu koroze lze vypočítat korozní rychlost a z té pak určit přibližnou životnost materiálu.

## **Bodová koroze**

U bodové korozi se jedná o děj, při kterém vznikají na povrchu kovu hluboké důlky, přičemž okolní povrch zůstává bez pozorovatelného poškození. Bodová koroze je problémem pasivovatelných materiálů (korozivzdorné oceli nebo hliník). Mechanismus koroze spočívá v tvorbě makročlánků mezi aktivovaným a pasivním povrchem. V místě poruchy pasivní vrstvy vzniká důlek, ve kterém vzrůstá koncentrace nejčastěji chloridových iontů a hydrolýzou korozních produktů klesá hodnota pH. Podmínky v důlku se stávají agresivnější, protože malá velikost jeho ústí důlku nedovoluje výměnu roztoku s okolím. S bodovou korozí souvisí štěrbinová koroze, která probíhá v kapilárách nebo v místech se špatným oběhem korozního prostředí.

## **Koroze v aktivním stavu**

Ke korozi v aktivním stavu dochází při přechodu iontů kovu z materiálu do korozního prostředí. Na povrchu kovu vzniká vrstva korozních zplodin, při jejichž tvorbě se stále obnažuje povrch materiálu a dochází ke stálému přístupu korozního prostředí. To má za následek pokračování koroze.

## **Koroze v pasivním stavu**

U některých kovů (Cr, Ti, Al) se při překročení určité rychlosti reakce vytvoří na povrchu kovu tzv. pasivní vrstva. Ta natolik zpomalí korozní rychlost, že tuto korozi v pasivním stavu je možné zanedbat. Pro celkovou korozní odolnost je rozhodující, zda je pasivní vrstva schopna se při poškození obnovit.

### **3.2.3 Koroze zinku**

Koroze zinku je ovlivněna dobou, po kterou je povrch vystaven působení prostředí – především vlhkosti a znečištění. Zinek se působením vzdušného CO<sub>2</sub> pokrývá a mechanicky

i chemicky odolnou vrstvou (zinkovou patinou), která je tvořena bazickým uhličitanem a síranem zinečnatým, a která výrazně zpomaluje jeho další napadání.

V případě atmosféry s trvale vysokou vlhkostí je zinek korodován rychleji. Za přítomnosti kondenzované vody vznikají bílé, objemné a špatně ulpívající vrstvy hydroxidu zinečnatého (tzv. bílá koroze). K napadení povlaku bílou korozí jsou náchylné především čerstvě pokovené povrchy. Jestliže je povrch mokrá nebo pokud chybí přístup vzdušného  $\text{CO}_2$  nezbytného pro tvorbu uhličitanu zinečnatého, ochranná vrstva se nevytvoří. Vzniku bílé koroze na povlaku lze předejít vyloučením ovlhčení pozinkovaných součástí po dobu nejméně několika dnů až týdnů po pozinkování, než se povlak přirozenou cestou pasivuje. Rizikové období lze překonat umělou pasivací nebo konzervováním [12].

Vlivem eroze dochází k úbytku ochranné vrstvy korozních produktů zinku z povrchu povlaku, a tento úbytek je nahrazován zinkem z jeho objemu. Rychlost koroze zinku záleží na podmínkách prostředí, zejména na vlhkosti a koncentraci znečištění. V běžné atmosféře je napadán nepatrně, ale průmyslové atmosféry ho korodují značně působením převážně oxidu siřičitého, který se vlivem vzdušného kyslíku a vody mění na kyselinu sírovou. Průměrná korozní rychlost zinku je do 5  $\mu\text{m}$  za rok. Koroze základního ocelového materiálu vzniká, pokud se vrstva zinku a jeho korozních produktů rozpouštěním sníží natolik, až dojde k jeho odhalení. Dochází k tzv. červené korozi.

### **3.2.4 Korozní zkoušky**

Kvalita povlakových systémů strojních součástí se nejčastěji hodnotí zrychlenými korozními zkouškami v umělých atmosférách. Zkoušky odpovídají předpokládaným provozním podmínkám součástí (výkyvy teplot, vlhkost, posypová sůl). Urychlení korozních procesů se dosahuje zesíleným působením teploty, relativní vlhkosti, kondenzace vlhkosti nebo zvýšené koncentrace korozně působících složek prostředí. Zkoušky probíhají ve speciálních komorách. K nejrozšířenějším zkouškám korozní odolnosti zinkových povlaků patří zkoušky podle následujících norem [13, 14, 15]:

#### **ČSN EN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách - zkoušky solnou mlhou**

Provádí se při 100% relativní vlhkosti a při teplotě  $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$  s rozstříkem různých roztoků:

- zkouška v neutrální solné mlze (NSS),
- zkouška v kyselé solné mlze (AASS),
- zkouška v solné mlze s ionty mědi (CAAS).

Zkouška je vhodná pro kovové povlaky, konverzní povlaky, povlaky vytvořené anodickou oxidací, organické povlaky na kovových podkladech, atd.

### **ČSN 03 8131 Korozní zkouška v kondenzační komoře**

Uskutečňuje se působením kondenzace vodních par za teploty 350 °C. Je vhodná pro posouzení odolnosti kovových materiálů a ochranných povlaků ve vlhkých a čistých atmosférách.

### **ČSN ISO 6988 Kovové a jiné anorganické povlaky**

Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti. Je vhodná pro detekci pórů nebo jiných zdrojů narušení povlaků a nedostatků korozní odolnosti spojených s nevhodnou úpravou.

## **3.2.5 Vliv galvanického pokovení na vodíkovou křehkost**

K častým nebezpečím pro povrchové úpravy patří poškození vodíkem. Vodík vniká do upravovaného materiálu při moření a při všech katodických procesech v elektrolytech (odmašťování, galvanické zinkování). Vodík může vnikat do materiálu i při použití nevhodných procesních kapalin při omílání nebo obrábění, ale i při korozi materiálu. Atomární vodík difunduje do krystalové mřížky a pokud nedojde bezprostředně k jeho odstranění tepelnými úpravami materiálu, způsobuje jeho zkřehnutí. Obecně platí, že odvodňování musí být podrobeny všechny díly, které mají pevnost v tahu větší než 1100 MPa, respektive tvrdost vyšší než 36 HRC [16]. Režim tepelné úpravy je dán obecně platnou specifikací nebo specifikací zákazníka. Pro většinu pevnostních ocelí by teplota odvodňování měla být  $(190 \pm 14) ^\circ\text{C}$  a doba odvodňování pro zinkové povlaky minimálně 24 hodin [16]. Navodňování nezpůsobuje jen křehkost materiálu, může způsobit i nekvalitně vyloučený povlak - jeho větší drsnost, zhoršený vzhled nebo přilnavost. Po výrazném navodňování jsou na povrchu povlaku pouhým okem patrné důlky a póry.

K opatřením pro odstranění příčin vodíkové křehkosti patří změna polarity při elektrolytickém odmašťování, resp. zavedení reverzních zdrojů (zboží je střídavě anodou a katodou), náhrada elektrolytického odmašťování čištěním za pomoci ultrazvuku, omezení doby moření otryskáním okují před mořením nebo změna elektrolytů (navodíkování je menší u elektrolytů kyanidových, velké u elektrolytů kyselých) [17].

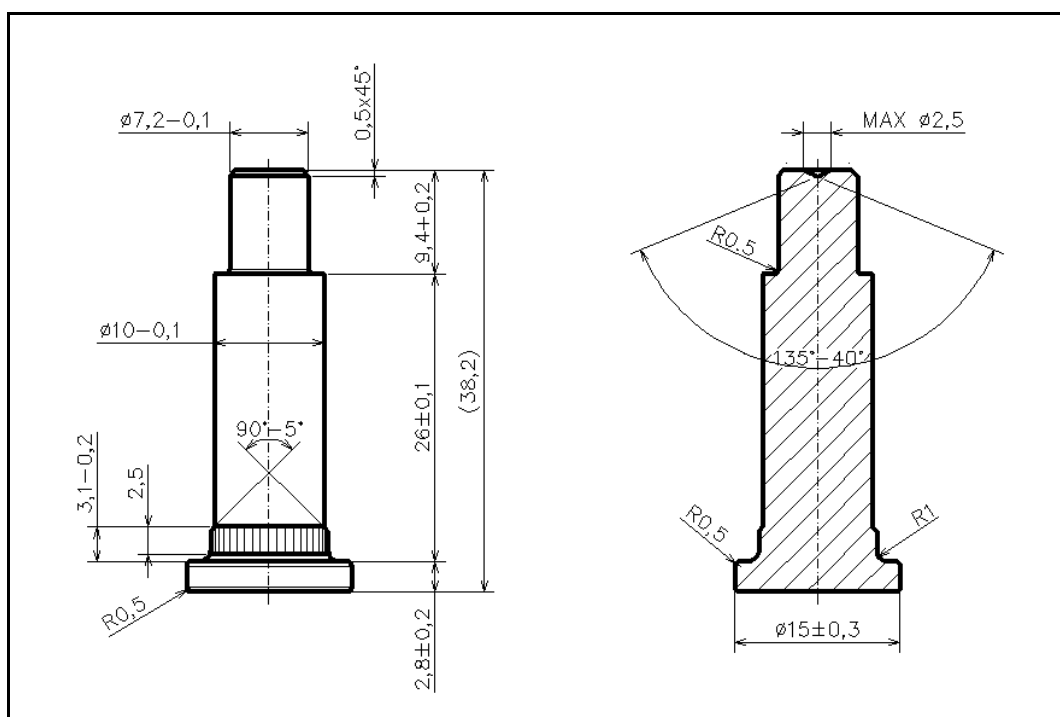


## 4 Zhodnocení současného stavu výroby nájezdu GM2

Při povrchové úpravě galvanickým zinkováním nájezdu bočních dveří GM2 (obr. 2) dochází v místech roznýtování středícího důlku čepu (obr. 3) ke tvorbě puchýřů. Následující kapitoly se budou zabývat příčinami vzniku této vady a možnostmi její eliminace.



Obr. 2 Nájezd GM2



Obr. 3 Čep nájezdu GM2 s technologickým středícím důlkem

## 4.1 Výroba nájezdu GM2.

Nájezd bočních dveří je určen pro automobily koncernu GM a označovaný jako nájezd GM2. Vyrábí se ve firmě produkující široký sortiment dílů pro automobilový průmysl.

### 4.1.1 Materiál nájezdu

Úplný nájezd bočních dveří GM2 se skládá ze dvou dílů - tělesa a čepu. Nájezd je vytvořen nalisováním drážkování a roznýtováním osazení čepu v otvorech tělesa.

Čep nájezdu je vyroben ze za studena taženého drátu určeného pro objemové tváření za studena. Drát je fosfátován zinečnatým fosfátem a je dodáván jako drátový svitek. Jakost oceli drátu je 20MnB4 dle ČSN EN 10027-1 (12 120, 12 122). Chemické složení a základní vlastnosti materiálu čepu uvádějí tabulky 2 až 4 [18].

Tabulka 2 Chemické složení materiálu 20MnB4

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	B
0,18-0,23	max. 0,30	0,90 - 1,20	max.0,025	max. 0,025	max. 0,30	max. 0,25	0,0008-0,005

Tabulka 3 Základní vlastnosti materiálu 20MnB4

Označení	R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>emin</sub> [MPa]	Tvrdost [HB]
20MnB4	580	225	-

Tabulka 4 Základní teploty pro tepelné zpracování materiálu 20MnB4

Teploty pro tepelné zpracování oceli 12 120	
Žihání na měkko	820 - 860 °C
Kalení	820 - 860 °C (olej nebo voda)
Popouštění	650 - 700 °C

Čep je před montáží zušlechťen na tvrdost (32 - 34) HRC na povrchu i v jádře. Jádro tvoří 100% popuštěný martenzit, povrch čepu má být neoduhličený.

Těleso nájezdu je vyrobeno z oceli označené podle specifikace koncernu General Motors jako HR 420 GMW 3032M-ST-S.

## 4.1.2 Technologie výroby nájezdu GM2

Technologický postup výroby nájezdu GM2 ukazuje tabulka 5.

Tabulka 5 Technologický postup výroby nájezdu GM2

<b>Čep GM2 - polotovar</b>		
<b>č.op.</b>	<b>Název pracoviště</b>	<b>parametry procesu</b>
	<b>Operace</b>	<b>zařízení / prostředek</b>
10	<b>KONTROLA</b> <b>kontrola kvality nakupovaného dílce</b> 1. Kontrolovat hlavní rozměry 2. Kontrolovat vzhled povrchu (povrch bez trhlin)	digitální posuvné měřítko
20	<b>DÍLNA ODMAŠŤOVÁNÍ</b> <b>odmašťování</b> 1. Založit paletu do vyklápěcího skipu 2. Odmastit dle typového postupu 3. Oplach vodou 4. Kontrolovat kvalitu povrchu, dílce bez zbytků oleje. 5. Dílce vysypat do čisté palety vyložené papírem.	10 min. (60 ± 10) °C průběžná bubnová pračka TC 1045 Compound ZF 322 S
30	<b>DÍLNA PÚ</b> <b>odfosfátování</b> 1. Nasypat do bubnu a buben vložit do lázně 2. Odfosfátovat-omíláním zbavit fosfátu 3. Vysypat odfosfátované díly do koše 4. Oplach studený-postřikem hadicí 5. Oplach studený-ponor 1×, odkapat 6. Oplach studený-ponor 1×, odkapat 7. Sušit 8. Kontrolovat kvalitu povrchu vizuálně dle vzorku 10 ks z dávky V případě neshodných dílců (zbytky fosfátu) operaci odfosfátování opakovat 9. Díly uložit do palety vyložené papírem.	20 min. (20 ± 10) °C Alputex 5050 fy buben NT 5 Henkel odstředivá sušárna
40	<b>KALÍRNA</b> <b>kalení</b> 1. Kalit a popouštět dle typového technologického postupu uložení: maximálně dvě vrstvy vsázka: 6800 ks parametry kalení (880 ± 10) °C (45 ± 5) min. OLEJ parametry popouštění (440 ± 10) °C (50 ± 5) min. ŘA	
41	<b>KALÍRNA</b> <b>kontrola tvrdosti</b> 1. Ověřit tvrdost po kalení dle typového technologického postupu pro měření tvrdosti min 35 HRC 2. Ověřit tvrdost po popouštění dle typového technologického postupu pro měření tvrdosti 32-34 HRC	tvrdoměr NK-004497 tvrdoměr NK-004497

50	<b>DÍLNA PÚ</b> <b>rotační omílání</b> 1. Nasypat dílce do bubnu, přidat kompond, doplnit vodou 2. Omílat <div><div>120 min.</div><div>(20 ± 10) °C</div></div> <div><div>buben OS4 A</div><div>Compound FC 120</div></div> 3. Otevřít buben a zkontrolovat stav povrchu vizuálně odebráním několika vzorků z dávky. V nevyhovujícím případě (zbytky okují, ostříny) prodloužit čas omílání o 30 min. a opakovat kontrolu. V případě nevyhovujícího výsledku zastavit práci. 4. Vysypat dílce do koše, pasivovat <div><div>10 min.</div><div>(80 ± 10) °C</div></div> <div><div>děrovaný koš</div><div>Aditive R1</div></div> 5. Horký oplach, pasivační ponor 3x opakovat		
60	<b>DÍLNA PÚ</b> <b>vibrační leštění</b> 1. Vysypat dílce do vibračního bubnu 2. Leštit <div><div>60 min.</div><div>(20 ± 10) °C</div></div> <div><div>buben R620 EC-KF</div><div>Compound FC 120 tělíska RP 04/05 ZS brusný prášek RPP 527</div></div> 3. Sušit <div><div>15 min.</div><div>RT 550Euro</div></div> <div><div></div><div>granulát SV</div></div> 2. Vysypat dílce do manipulační palety 3. Kontrolovat kvalitu povrchu vizuálně dle vzorku 10 ks z dávky V případě neshodných dílců (okuje, mastnota, nečistoty) operaci leštění opakovat		
<b>Nájezd GM2</b>			
č.op.	Název pracoviště	parametry procesu	
	Operace	zařízení / prostředek	
11	<b>JEDNOÚČELOVÝ STROJ - MONTÁŽ NÁJEZDU</b> <b>montáž nájezdu</b> pozice <div>rozměr<div>materiál</div></div> <div>1 - Těleso nájezdu GM2<div>4± 0,07x75x170/2</div><div>GMW 3032M-ST-S</div></div> <div>2 - Čep GM2<div>Ø10-0,1x38,2</div><div>20MnB4</div></div> 1. Nastavit v JÚS etalonem kontrolované parametry 2. V JÚS čep nalisovat, konec čepu roznýtovat 3. Dobrý nájezd označit (rok, den roku, JÚS, závod)		
	<b>kontrola kvality k op. 10</b> 1. Kontrolovat správnost funkce kontrolních stanic JÚS vložním vzorku dle jednotlivých druhů vad 2. Kontrolovat předepsané rozměry nájezdu. 3. Kontrolovat správnost a úplnost značených údajů.		
20	<b>BALENÍ</b> <b>kontrola, balení do kooperace</b> 1. 100% kontrolovat vizuálně - vadné vyřadit. 2. Dobré dílce odkládat opatrně do manipulační palety.		

21	<b>BALENÍ</b> <b>kontrola kvality k op. 20</b> 1. Kontrolovat povrch tělesa na mechanické poškození (otlaky, rýhy, záseky) 2. Kontrolovat vizuálně hlavu čepu po nýtování - hlava čepu musí být bez prasklin, zadřenin a spáleného povrchu. 3. Kontrolovat správnost zanýtování - mezi velkým průměrem čepu a prolisem tělesa a mezi osazením čepu a nosem tělesa - bez vůle.								
28	<b>EXTERNÍ PŘEPRAVA</b> <b>odvoz do kooperace</b> 1. Odvézt do kooperace								
30	<b>KOOPERACE EXTERNÍ</b> <b>zinkování</b> <table><tr><td>úprava</td><td>norma</td><td>tloušťka</td></tr><tr><td>15K 480/120 (Fe//Zn15//A + 2xDeltacol)</td><td>GMW 3044C</td><td>15 µm</td></tr></table> 1. Zinkovat. 2. Kontrolovat kvalitu povrchu zinkování u 100 % dílů a vytřídit vadné.			úprava	norma	tloušťka	15K 480/120 (Fe//Zn15//A + 2xDeltacol)	GMW 3044C	15 µm
úprava	norma	tloušťka							
15K 480/120 (Fe//Zn15//A + 2xDeltacol)	GMW 3044C	15 µm							
40	<b>KOOPERACE EXTERNÍ</b> <b>pečetění v Deltacoll</b> 1. Provést pečetění v přípravku Deltacoll 80 transp. do 4 hod. celkem 2x. 2. Kontrolovat kvalitu pečetění u 100 % dílců a vytřídit vadné.								
50	<b>KONTROLA OTK</b> <b>kontrola kooperace</b>  1. Kontrolovat kvalitu PÚ. 2. Odebrat díl k provedení korozního testu na odolnost 120 hod. do Zn koroze. 3. Dobré kusy balit do papírové krabice vyložené plastovým pytlím.								
51	<b>KONTROLA OTK</b> <b>kontrola kvality k op. 50</b>  1. Kontrolovat tloušťku Zn povlaku (15 - 35) µm v místě označeném na výkrese. 2. Kontrolovat vzhled vybarvenosti chromátu a provedení PÚ - povlak Zn bez puchýřů, spálených míst a výrazně matných ploch, pečetění bez fleků, kapek a nepokrytých míst. 3. Kontrolovat zrcadlovou odrazivost povrchu 350 GU (leskoměr ZGM 1120.26) 4. Kontrola úplnosti a čistoty balení a dokumentace. 5. Korozní test na odolnost 120 hod. do Zn koroze.  V případě, že s dodávkou přišel měrový protokol dodavatele se bod 1 nemusí provádět.								
500	<b>EXTERNÍ PŘEPRAVA</b> <b>odvoz</b>								

## Tváření čepu

Výchozí polotovár čepu je tažený drát fosfátovaný zinečnatým fosfátem již u výrobce drátu. Drát je stříhán, kalibrován a objemově tvářen za studena. Při tváření jsou použity

operace redukce osazení Ø7,2 mm, přechování hlavy čepu Ø15 mm a redukce ozubení Ø10,7 mm. Celková délka čepu je 38,2 mm. Předem je vylisován technologický středící důlek na čele špalíku na straně budoucího osazení - nýtu o max. Ø2,5 mm a vrcholovém úhlu 135°. Středící důlek slouží při pozdějších tvářecích operacích k vystředění špalíku, které je nutné pro zajištění požadované tvarové přesnosti čepu.

Produkční takt výroby čepu je 60 ks/min, lisování probíhá na lisu TPZ 8 ŠMERAL. K mazávání lisu a přimazávání a chlazení výlisků je použit cirkulační olej MOL TCL 220 M výrobce Slovnaft. Čep po objemovém tváření je zobrazen na obr. 4.

### **Odmašťování čepu**

Odmaštění čepů se provádí v průběžné bubnové pračce TC 1045 v komponentu ZF 322S fy Rösler po dobu 10 minut při teplotě 60 °C. Prostředek ZF 322 je odmašťovací komponent s ochranou proti korozi pro všechny železné a neželezné kovy s hodnotou pH 8,9. Čepy jsou i s MARS paletou založeny do vyklápečího skipu a automaticky odmaštěny. Pro usnadnění odlučování oleje od vody je v odmašťovacím roztoku aditivum. Po průchodu pračkou následuje oplach vodou a kontrola kvality povrchu čepů (čepy musí být bez zbytků oleje). Po odmaštění jsou čepy vysypány do čisté palety vyložené papírem a převezeny k odfosfátování.

### **Odfosfátování čepu**

Odfosfátování čepů probíhá v bubnu NT IV v roztoku Alputex 5050 fy Henkel (směs alkálií a solí organických kyselin). Čepy jsou nasypány do bubnu a vzájemným omíláním jsou zbaveny vrstvy fosfátu. Hmotnost vsázky je 18 kg. Odfosfátované čepy jsou vysypány do palety vyložené papírem a jsou převezeny ke kalení. Čep po odfosfátování je zobrazen na obr. 5.

### **Kalení a popouštění čepu**

Kalírna je tvořena linkou s elektricky vytápěnou pecí na ohřev a popouštění dílců, olejovými kalícími vanami a alkalickou odmašťovací pračkou zakalených dílců před popouštěním. Součástí kalírny je vyvíječ oxidu uhelnatého, který je získáván ve reakci zemního plynu se vzduchem. Čepy jsou zušlechťeny na (32 - 34) HRC (povrch i jádro). Jádro

je tvořeno 100% popuštěným martenzitem. Je snahou zajistit, aby při kalení nedocházelo k oduhličování a ani nauhličování povrchu, proto ohřev a výdrž na požadované teplotě probíhá v ochranné atmosféře CO.

- parametry kalení:  $(880 \pm 10) ^\circ\text{C}$   $(45 \pm 5)$  min. olej
- parametry popouštění:  $(440 \pm 10) ^\circ\text{C}$   $(50 \pm 5)$  min. řízená atmosféra

Po kalení i po popouštění je kontrolována tvrdost. Po kalení je požadována tvrdost minimálně 35 HRC. Čep po kalení a popouštění je zobrazen na obr. 6.

### **Omílání čepu**

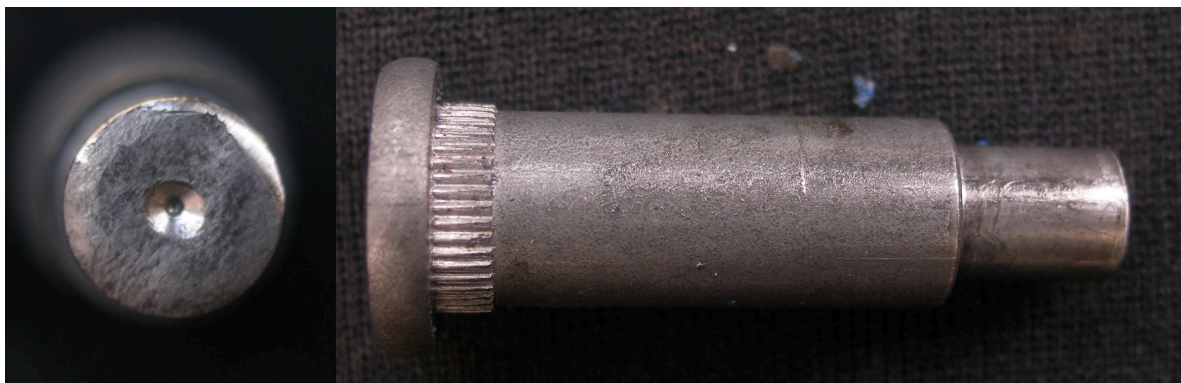
Po zušlechťování probíhá omílání čepů za mokra v omítacím bubnu OS4A v kapalném komponentu FC 120 fy Rösler bez přítomnosti omítacích tělísek. Omílání probíhá po dobu 120 min. při teplotě  $20 ^\circ\text{C}$ . Komponent FC 120 je univerzální čistící, brousící a leštící prostředek s ochranou proti korozi. Má primární úkol, a to udržet povrch obrobků čistý a zajišťovat konstantní úroveň jakosti procesu omílání [19].

Účelem omílání je odstranění ostřin a případných okují vzniklých v průběhu kalení. Po omílání je vizuálně zkontrolován stav povrchu čepů odebráním několika vzorků z dávky. V nevyhovujícím případě je prodloužen čas omílání o 30 min. Po omílání jsou čepy vysypány do koše a pasivovány v přípravku Aditive R1.

### **Vibrační leštění čepu**

Pro sjednocení vzhledu a drsnosti povrchu čepů a těles nájezdů jsou čepy po omílání leštěny. Leštění probíhá ve vibračním bubnu v komponentu FC 120 s keramickými brousícími tělísky RP 04/05 ZS a práškovým komponentem RPP 527 po dobu 60 min. při teplotě  $20 ^\circ\text{C}$ . Komponent RPP 527 je lehce brousící produkt s hladícím a leštícím účinkem určený pro uzavřený oběh. Po leštění následuje sušení průchodem automatickou sušičkou s náplní produkt z kukuřičné celulózy Supervelatu SV 16 fy Rösler.

Po leštění je znovu vizuálně zkontrolována kvalita povrchu dle referenčního vzorku odebráním 10 ks z dávky. V případě neshodných dílců (okuje, mastnota, nečistoty) je operace leštění opakována. Čep po leštění je zobrazen na obr. 7.



Obr. 4 Čep po objemovém tváření



Obr. 5 Čep po odfosfátování



Obr. 6 Čep po kalení a popouštění



Obr. 7 Čep po leštění



Těleso nájezdu GM2 je lisováno v postupovém nástroji lisu 1000 tun. Výchozím polotovarem je ocelový pás rozměrů (4×75) mm dodávaný ve svitcích. Těleso nájezdu je před kompletací odmaštěno, odjehleno omíláním a osušeno.

### **Automatická montáž nájezdu**

Montáž a nýtování nájezdů GM2 zajišťují jednoúčelové stroje s orbitálním pohybem lisovacího nástroje. Přesun mezi jednotlivými pracovními jednotkami je stroje zajišťován pneumatickým krokovým dopravníkem. Doprava a zakládání jednotlivých komponentů je automatická. Stroj je osazen vibračními zásobníky a vyklápěcím zařízením palety s tělesy nájezdu s rozřazovacím dopravníkem. Po montáži a roznýtování čepu je provedena automatická kontrola požadovaných rozměrů a třídění neshodných dílů.

Patetizované nájezdy se převážejí do firmy GALVAN CZ s.r.o. v Ostravě-Přívoze (dále jen GALVAN CZ), kde jsou galvanicky pokoveny ve slabě kyselém elektrolytu.

### **4.1.3 Povrchová úprava nájezdu GM2**

Povrchová úprava a korozní odolnost nájezdu GM2 je předepsána a hodnocena podle specifikace koncernu GM [20]. Povlakový systém dle této specifikace nesmí obsahovat šestimocný chrom a nesmí vykazovat žádné tvoření puchýřů ani odlupování ani po jakékoli tepelné úpravě. Barevný povrch má být jednolitý, dobře přilnavý, tvrdý a suchý. Tloušťka úpravy má být určena prohlídkou příčných řezů provedených kolmo k exponovanému povrchu pod mikroskopem nebo jinými dohodnutými metodami. Odolnost proti korozi má být zkoušena dle normy ISO 9227, která má být součástí statistické výrobní kontroly zhotovitele povlaku. Z exponovaných povrchů pro vyhodnocení zkoušky jiných součástí než upevňovacích se závitem, jsou vyloučeny díry, osazení, závity, což jsou ostré hrany a rohy (které jsou vystaveny mechanickému poškození při manipulaci hromadně dokončovaných součástí během běžného výrobního procesu). Tyto neexponované povrchy mohou být během zkoušky solnou sprchou překryty či jinak chráněny. V případě povrchových úprav zahrnujících dodatečné úpravy, musí součást před zkouškou projít umělým stárnutím za běžných laboratorních teplot po dobu nejméně 24 hodin.

Hodnocený nájezd má předepsanou povrchovou úpravu s označením GMW-3044-C 15K 480/120, kde K znamená pasivace. Alternativní označení povrchové úpravy nájezdu podle ČSN je ČSN EN 12329 Fe//Zn15//A.

## **4.2 Současný stav ve firmě GALVAN CZ**

V současnosti je ve firmě GALVAN CZ provozováno zinkování ve slabě kyselých lázních s následnou úpravou tenkovrstvou nebo silnovrstvou pasivací. Na přání zákazníka lze pro zvýšení korozní odolnosti zboží utěsnit lakem.

### **Odmašťování**

Předúprava pokovených dílů chemickým odmaštěním probíhá v přípravku Surfaclean 900 firmy Metallchemie. Elektrochemické anodické odmaštění se provádí v přípravku Ekrasit E-53 (Metallchemie). Galvanické povlaky jsou choulostivé na čistotu povrchu, proto se elektrochemické odmaštění zařazuje jako další předúprava před vlastní pokovení.

### **Moření a dekapování**

Moření a dekapování se provádí jednostupňově ve vodném roztoku kyseliny chlorovodíkové.

### **Zinkování**

Vlastní zinkování je prováděno ve slabě kyselých leskle pracujících lázních elektrolytu Slotanit OT firmy Schlöetter se soustavou pomocných technologických lázní. Závěsová linka disponuje třemi vanami pro zinkování a bubnová linka dvěma vanami. Vyloučené povlaky jsou vysoce lesklé, mají dobrou tažnost a lze je snadno pasivovat.

### **Tenkovrstvá pasivace (modrý chromát)**

Pasivace se provádí ponorem do pracovní lázně s přípravkem Slotopas Z 20 (Schlöetter). Pasivační koncentrát sestává hlavně z trojmocného chromu, jakož i některých organických a anorganických složek.

## Silnovrstvá pasivace

Silnovrstvá pasivace je podstatně složitější než žluté chromátování, neboť se musí trvale kontrolovat chemické složení a fyzikální parametry lázně. Silnovrstvá pasivace se provádí v lázni s přípravkem Slotopas HK 10 (Schlötter).

## Utěsnění lakovou vrstvou

Při vysokých požadavcích na korozní odolnost se provádí utěsnění zinkové a pasivační vrstvy speciálním transparentním lakem, neboť takový systém povrchové úpravy splňuje ta nej přísnější kritéria protikoroze ochrany a vyhovuje požadavku zákazníka. Utěsnění je prováděno v přípravcích Deltacoll firmy Dörken v jednom areálu v zařízení fy DELTACOL CZ s.r.o. Jde o linku typu TULZ 900 od firmy WMV (Německo), s kapacitou max. 1 000 kg zboží.

Mezi jednotlivé operace se zařazují jedno nebo více stupňové oplachy. Oplach se provádí studenou vodou ponorem dílů do vany. Vlastní chemická laboratoř zabezpečuje pravidelné chemické analýzy lázní a zajišťuje chod chemických a galvanických procesů. Lázně jsou průběžně čistěny, což zajišťuje jejich dlouhou životnost.

### 4.2.1 Nasazení a údržba zinkovací lázně

Dávkování na 100 l lázně Slotanit OT ukazuje tabulka 6.

Tabulka 6 Dávkování lázně Slotanit OT

Složka	Množství na 100 l lázně
základní sůl Ggrundsatz SLOTANIT	18 kg
chlorid draselný	18 kg
kyselina boritá	0,5 kg
základní přísada Ggrundzusatz SLOTANIT OT	3,5 l
leskutvorná přísada Zink-Glanzzusatz UF 12	0,05 l

Zinkovací lázeň je tvořena vodným roztokem základních solí: chlorid draselný (120 - 160) g/l zajišťuje dokonalou vodivost elektrolytu, chlorid zinečnatý (30 - 45) g/l udržuje hladinu zinečnatých iontů nutnou pro úspěšné zinkování, kyselina boritá (20 - 30) g/l slouží

jako pufr - udržuje hodnotu pH lázně v žádaném rozmezí 4,9 - 5,5. Lesk, tažnost a rozložení vrstvy povlaku zajišťují leskutvorné přísady organického typu Zink-Glanzzusaltz UF 12.

#### **Analytické hodnoty lázně:**

- zinkové ionty $Zn^{+}$	(30 - 45) g/l
- chloridové ionty $Cl^{-}$	(125 - 180) g/l
- poměr $Zn^{+}$ a $Cl^{-}$ iontů	1 : (4-5)
- kyselina boritá $H_3BO_3$	(20-25) g/l

#### **Pracovní podmínky:**

- katodická proudová hustota	(2 - 3) A/dm <sup>2</sup>
- napětí	(2 - 8) V
- provozní teplota lázně	(20 - 30) °C
- hodnota pH	5 - 5,4
- míchání	pohyb katodové tyče 7 m/min
- filtrace	kontinuální
- katodický proudový výtěžek	cca 95 %
- vylučovací rychlost	cca 0,8 μm/min při 3 A/dm <sup>2</sup>

### **4.2.2 Technologie zinkování nájezdů GM2**

Nájezdy GM2 určené k pokovení jsou navěšeny na katodové tyče, které jsou v pravidelných intervalech vyzvednuty dopravníkem a zavezeny do vany chemického odmaštění. Po odmaštění následuje oplach ve dvoustupňové průtočné vaně s protisměrným průtokem vody a elektrolytické anodické odmaštění. Z vany elektrolytického odmaštění jdou tyče přes další dvoustupňový oplach do dekapovací vany. Zde jsou nájezdy zbaveny ulpěných alkálií a jejich povrch je zaktivován. Po vyjmutí z vany dekapování jsou tyče zavezeny do oplachu po dekapování a dále dalším dopravníkem do zinkovací lázně. Po zinkování následuje ekonomický oplach, ze kterého se doplňuje vynesená voda ze zinkovací lázně, dvoustupňový oplach v průtočné vaně a vyjasnění ve vaně s roztokem kyseliny dusičné  $HNO_3$ . V tomto roztoku se odleptáním povrchové vrstvy sjednotí povrch povlaku a povlak se prosvětlí. Zároveň se povrch zaktivuje pro aplikaci následné silnovrstvé pasivace. Z pasivační vany jsou tyče vyzvednuty a opláchnuty v dvoustupňové průtočné vaně. Ve druhé vaně jsou tyče přesunuty do teplého oplachu, po kterém následuje sušení v plynové sušičce a uložení do manipulačních palet. Dle technologického postupu je u všech nájezdů kontrolována kvalita naneseného zinkového povlaku.

Dodatečné utěsnění Zn povlaku anorganickým lakem Deltacoll 80 musí být započato do čtyř hodin po zinkování z důvodu zabránění vytvoření prvních korozních produktů zinku. Deltacoll je anorganická směs komplexů siloxanu, polymerů titanu a rozpouštědel dodávaná firmou Dörken, která se nanáší na povrchy fosfátu, zinku a zinkoslitin s pasivací. V tekutém stavu jsou zde organická spojení. Po vytvrzení a odpaření rozpouštědla vzniká anorganický film. Jako rozpouštědlo se používají alkoholy. Utěsnění probíhá máčením v koších s následným odstředěním a vypálením na páse v průběžné tunelové peci. Proces se provádí dvakrát z důvodu nanesení povlaku na všechna místa nájezdů. Vypalování probíhá při teplotě 60 °C a urychluje vytvrzení naneseného povlaku.

Technologický postup povrchové úpravy nájezdu ukazuje tabulka 7.

Tabulka 7 Technologický postup povrchové úpravy nájezdu

Číslo operace	Operace	Složení lázně	Teplota (°C)	Technolog. čas	Proudová hustota (A/dm <sup>2</sup> )
01	Navěšení na závěs				
02	Alkalické odmaštění	Surfaclean 900, Metallchemie (40 - 80) g/l	50 - 70	10 min.	
03	Oplach studený 2°	voda	10 - 20	2 x 20 s	
04	Moření	HCl (1:1)	10 - 20	5 - 15 min	
05	Oplach studený 2°	voda	10 - 20	2 x 20 s	
06	Anodické odmaštění	Ekrasit E-53, Metallchemie (50 - 80) g/l		120 s	7 - 10
07	Oplach studený 2°	voda	10 - 20	2 x 20 s	
08	Dekapování	kyselina chlorovodíková (8-10) %	15 - 25	60 s	
09	Oplach studený 2°	voda	10 - 20	2 x 20 s	
10	Zinkování na 15 µm	Slotanit OT, Schlötter (30 - 45) g/l	20 - 30	45 min.	2 - 3
11	Ekonomický oplach 1°	demineralizovaná voda	10 - 20	(30 - 45) s	
12	Oplach studený 2°	voda	10 - 20	2 x 20 s	
13	Vyjasnění	HNO <sub>3</sub> 10 ml/l	15 - 25	10 s	
14	Oplach studený 1°	voda	10 - 20	(30 - 45) s	
15	Pasivace silnovrstvá	Slotopas HK 10, Schlötter (150 - 300) g/l	40 - 45	(10 - 20) s	

16	Oplach studený 2°	voda		2 x 20 s	
17	Sejmutí ze závěsu, uložení do palet				
18	100% kontrola kvality zinkování				
19	Vysypání do košů linky Deltacol				
20	Utěsnění 1	Deltacoll 80, Dörken	20 - 30	60 s	
21	Oplach studený 2°	voda		2 x 20 s	
22	Teplý oplach 1°	voda	max. 60	(30 - 45) s	
23	Sušení	teplý vzduch	80	15 min.	
24	Utěsnění 2	Deltacoll 80, Dörken	20 - 30	60 s	
25	Oplach studený 2°	voda		2 x 20 s	
26	Teplý oplach 1°	voda	max. 60	(30 - 45) s	
27	Sušení	teplý vzduch	80	15 min.	
28	100% kontrola kvality utěsnění				
29	Expedice				

## 5 Experimentální část

Pro identifikaci příčin vzniku defektů galvanického Zn povlaku v oblasti tvářené plochy čepu nájezdu GM2 bylo provedeno následující měření a pozorování:

- vizuální kontrola rovnoměrnosti vyloučení povlaku a přítomnosti defektů,
- mikroskopické hodnocení struktury povlaku, vad povlaku a jeho přilnavosti,
- měření tloušťky povlaku,
- analýza chemického složení na rozhraní základní materiál - Zn povlak,
- zkouška korozní odolnosti solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227.

### 5.1 Metodika experimentálních prací a použitá zařízení

Kapitola obsahuje stručný popis všech zařízení, se kterými bylo pracováno v experimentální části této diplomové práce.

#### 5.1.1 Zobrazovací zařízení

Vzorky byly zkoumány pomocí světelné mikroskopie a elektronové rastrovací mikroskopie. Vizuální kontrola vzorků byla dokumentována digitálním fotoaparátem značky



Obr. 8 Mikroskop NEOPHOT 21

OLYMPUS model CAMEDIA c-7070. Vizuální kontrola vzorků s desetinásobným zvětšením byla provedena metodou světelné mikroskopie na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 21 výrobce CarlZeiss-Jena (obr. 8) s počítačovou podporou softwaru QuickPHOTO Industrial 22. Struktura povlaku a přítomnost vad byla po naleptání (2% Nital) pozorována a dokumentována metodou světelné mikroskopie na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 21 s počítačovou podporou softwaru QuickPHOTO Industrial 22. Bylo použito celkové zvětšení 200×. Tloušťka povlaku byla měřena a dokumentována metodou světelné mikroskopie na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 21 s počítačovou podporou softwaru QuickPHOTO Industrial 22. Bylo použito celkové zvětšení 200×.

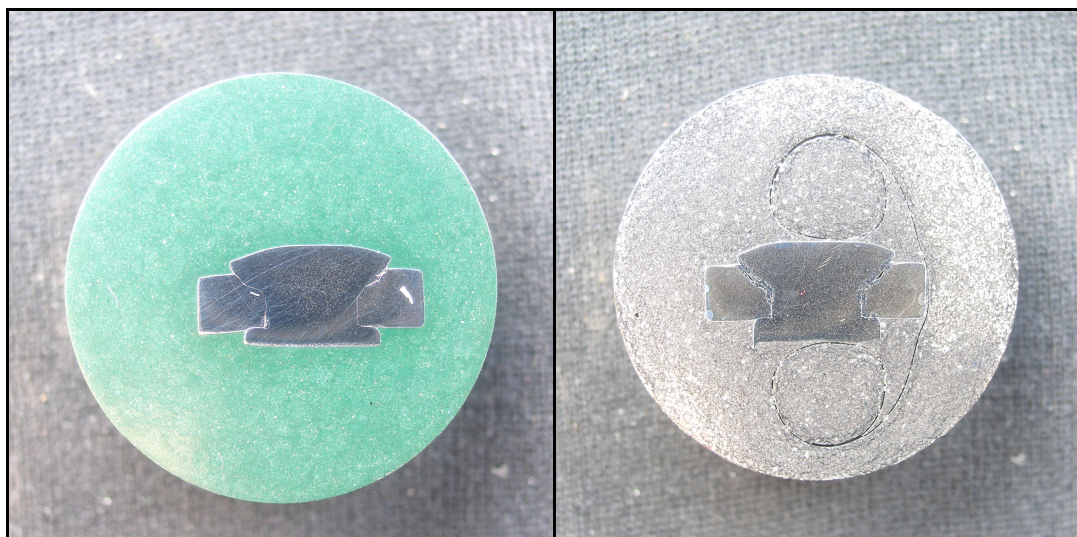
Hodnocení příčného řezu a lokální analýza chemického složení byly provedeny na elektronovém rastrovacím mikroskopu (REM) JEOL JSM-6490LV vybaveném energiově-disperzním analyzátozem Inca x-act. Principem elektronové mikroskopie je bombardování povrchu vzorku řádkujícím elektronovým svazkem s detekcí zpětně odražených (BSE), sekundárních elektronů (SE), fluorescenčního rentgenového záření nebo jakéhokoli jiného analyticky využitelného signálu. Rozlišení detailů je od cca jednotek  $\mu\text{m}$  (BSE, tlak přibližně 10 až 100 torrů) nebo desetin  $\mu\text{m}$  (SE, hluboké vakuum). Zpravidla je spojeno s analýzou prvkového složení metodami EDS (energiově disperzní spektroskopie, přístroj se nazývá EDX nebo EDAX) nebo WDS (vlnově disperzní spektroskopie, přístroj se nazývá mikrosonda).

Pro zkoumání čepu nájezdu byla použita metoda detekce zpětně odražených elektronů (BSE), která mnohem více zdůrazňuje lokální rozdíly v chemickém složení. Chemické složení bylo zkoumáno pomocí metody EDS. EDS analýza má mez detekce cca 1 % pro lehčí prvky než bór, případně uhlík, a cca 0,1 % pro prvky těžší. Je to rychlejší, ale méně přesná analytická metoda. Nevýhodou je překryv některých prvků jako např. olovo - síra.

### **5.1.2 Postup přípravy vzorků pro metalografii**

Pro metalografické hodnocení povlaku čepu a jeho vad byly z dodaných vzorků nájezdů separovány dva metalografické výbrusy (obr. 9). Místo odběru vzorku bylo voleno v ose čepu s ohledem na přítomnost roznýtovaného středícího důlku. Metalografické výbrusy byly připraveny běžnými technikami - broušením za mokra a leštěním diamantovými pastami.





a)

b)

Obr. 9 Zalité vzorky roznýtovaného čepu

a) pro optickou mikroskopii, b) pro elektronovou mikroskopii

Pro preparaci vzorků pro metalografii bylo použito zařízení a technologie firmy Struers [21].

Řezy byly získány na zařízení pro automatické dělení Discotom-6 (obr. 10) za použití intenzivního chlazení. Zařízení Discotom-6 je velmi výkonné univerzální řezací zařízení, které lze používat v automatickém a manuálním režimu. Elektronická redukce rychlosti posuvu zaručuje výborné výsledky řezání. Efektivní chladicí systém zabraňuje pálení povrchu vzorku.



Obr. 10 Řezací zařízení Discotom-6 firmy Struers

Zalítí vzorků bylo provedeno za tepla a tlaku na lisu ProntoPress-20 (obr. 11). Účelem zalévání je chránit křehké nebo povlakované vzorky během preparace a zachovat dobré zaoblení hran. Vzorek pro elektronovou mikroskopii byl zalit do akrylátové pryskyřice ConduFast. Hmota ConduFast je vodivý termoplast s železným plnivem určený pro elektrolytické leštění. Vzorek pro optickou mikroskopii byl zalit do bakelitová pryskyřice MultiFast určené pro běžné zalisování vzorků. Lis ProntoPress-20 je elektrohydraulický programovatelný zalévací systém se dvěma válci.



Obr. 11 Lis ProntoPress-20 firmy Struers

Výbrus vzorků byl proveden na brousícím a leštícím zařízení TegraPol-35 (obr. 12). Zařízení má nastavitelnou rychlost zařízení a průměr kotouče 300 mm. Pro broušení bylo použito sedm druhů brusných kotoučů se zrnitostmi 80, 180, 220, 500, 800, 1200 a 2400. Vzorky byly broušeny vždy dvě minuty, u konečného broušení na kotouči o zrnitosti 2400 bylo broušení vzorku pro dosažení kvalitního povrchu opakováno třikrát po dobu jedné minuty. Během každé výměny brusného papíru byly vodou z povrchu vzorku opláchnuta ulpěná zrna brusného papíru.

Leštění vzorků bylo provedeno na brousícím a leštícím zařízení TegraPol-35. Vzorky byly leštěny dvakrát po dobu pěti minut. Z důvodu možného vzniku korozních produktů, které by mohly ovlivnit výsledky dalších měření, byly vzorky od leštící kapaliny očištěny lihem a vysušeny horkým vzduchem.



Obr. 12 Brousící a leštící zařízení TegraPol-35

Metalografické výbrusy byly připraveny běžnými technikami - broušením za mokra, leštěním diamantovými pastami a chemicko-mechanickým doleštění pomocí suspenze OP-S od firmy Struers. Vzorky byly po naleptání (2% Nital) pozorovány na metalografickém mikroskopu Neophot 21 při zvětšeních 200× a 500× a dokumentovány digitální fotoaparátem a dále rovněž na rastrovacím elektronovém mikroskopu.

### 5.1.3 Zkouška korozní odolnosti

Korozní odolnost nájezdů byla hodnocena urychlenou zkouškou dle ČSN EN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou [13]. Pro hodnocení byla zvolena metoda zkoušky v neutrální solné mlze (NSS), při které je vzorek vystaven rozprašování neutrálního roztoku chloridu sodného. Zkouška proběhla v solné komoře typu S-KB 400 A TR firmy LIEBISCH umístěné na Katedře materiálového inženýrství FMMI VŠB - TU Ostrava.

#### Režim zkoušky:

- teplota  $(35 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- 5% roztok chloridu sodného
- množství spadu mlhy (1 - 2) ml na ploše  $80 \text{ cm}^2$
- pH spadu mlhy 6,5 až 7,2

## **Příprava roztoku**

Roztok, ze kterého vzniká solná mlha byl vytvořen z demineralizované vody přidáním chloridu sodného přidáním 50 g až 55 g na jeden litr při teplotě vody 25 °C. Hodnota pH roztoku byla upravována kyselinou chlorovodíkovou a hydroxidem sodným.

## **Příprava komory**

Aby se zajistila homogenita prostředí byla tryska se solnou mlhou umístěna doprostřed komory. Homogenita se sledovala pomocí nálevek s předepsanou sběrnou plochu. Nálevky byly umístěny v komoře tak, aby byly co nejdále od sebe, ale ne blíže než 10 cm od trysky nebo stěny. Vzorky se nesmí dotýkat, a pokud se umísťují nad sebe, nesmí stékat kapalina z vrchního vzorku na spodní.

## **Průběžná kontrola vzorků a komory**

U vzorků byl v pravidelných cyklech sledován stupeň korozního napadení. Z komory byla odsána solná mlha a zkontrolována hodnota pH a spád mlhy ve válcích, který by měl být v obou válcích stejný. Vzorky byly kontrolovány průběžně, zpočátku v cyklech 12 hodin a později v cyklech 24 a 48 hodin. Celková doba zkoušky byla stanovena podle předepsaných technologických parametrů nájezdu (480 hodin do výskytu červené koroze / 120 hodin do výskytu bílé koroze).

## **Hodnocení vzorků**

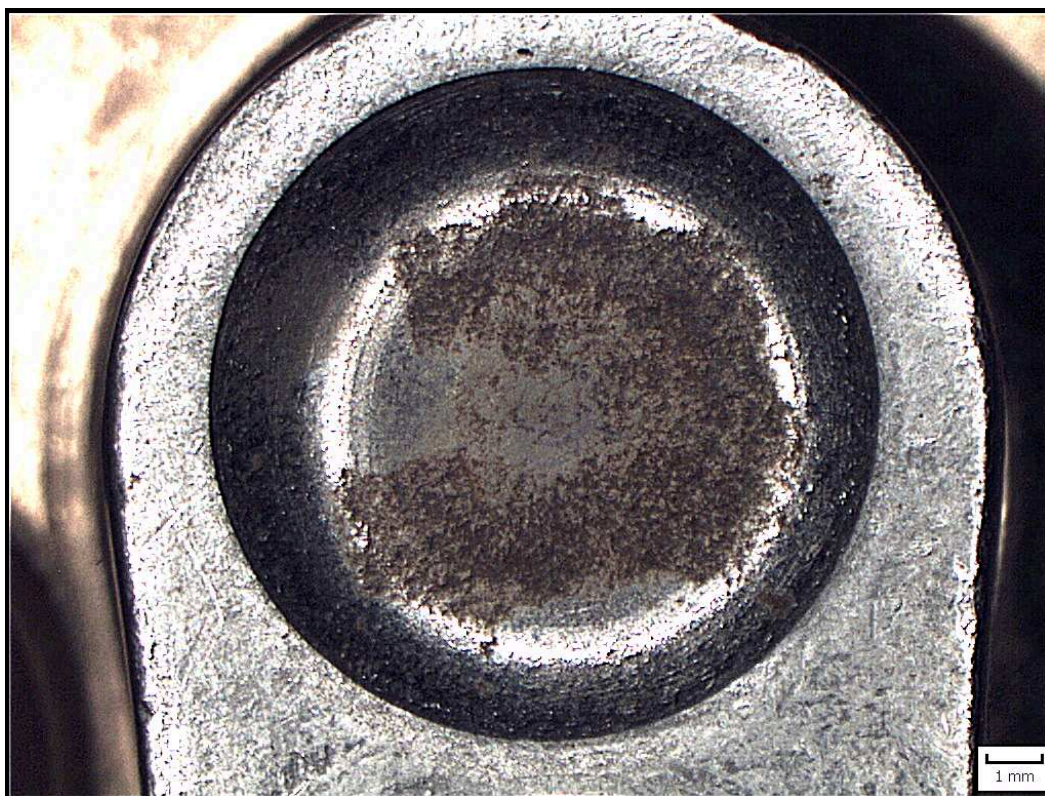
Hodnoceným parametrem byl vznik objemných bílých korozních produktů zinku a vznik červených bodů (koroze základního materiálu), případně změny stavu povrchu (puchýře) s důrazem na oblast roznýtovaného středícího důlku čepu. Pro vyhodnocení zkoušky byly z exponovaných povrchů vyloučeny ostré hrany a rohy, které byly vystaveny možnému mechanickému poškození při hromadně prováděném utěsňování.



## 5.2 Výsledky experimentálních prací

### 5.2.1 Makroskopické hodnocení nájezdu a jeho povlaku

V oblasti tvářené plochy čepu se u dodaných nájezdů určených k zinkování mohou vyskytnout známky korozního napadení (obr. 13). Tyto korozní produkty se před vlastním zinkováním odstraňují mořením. Jelikož v oblasti roznýtovaného čepu je toto korozní napadení výraznější než na jiných částech nájezdu, nemusejí být korozní produkty procesy odmašťování zcela odstraněny a mohou se podílet na vzniku vad povlaku.



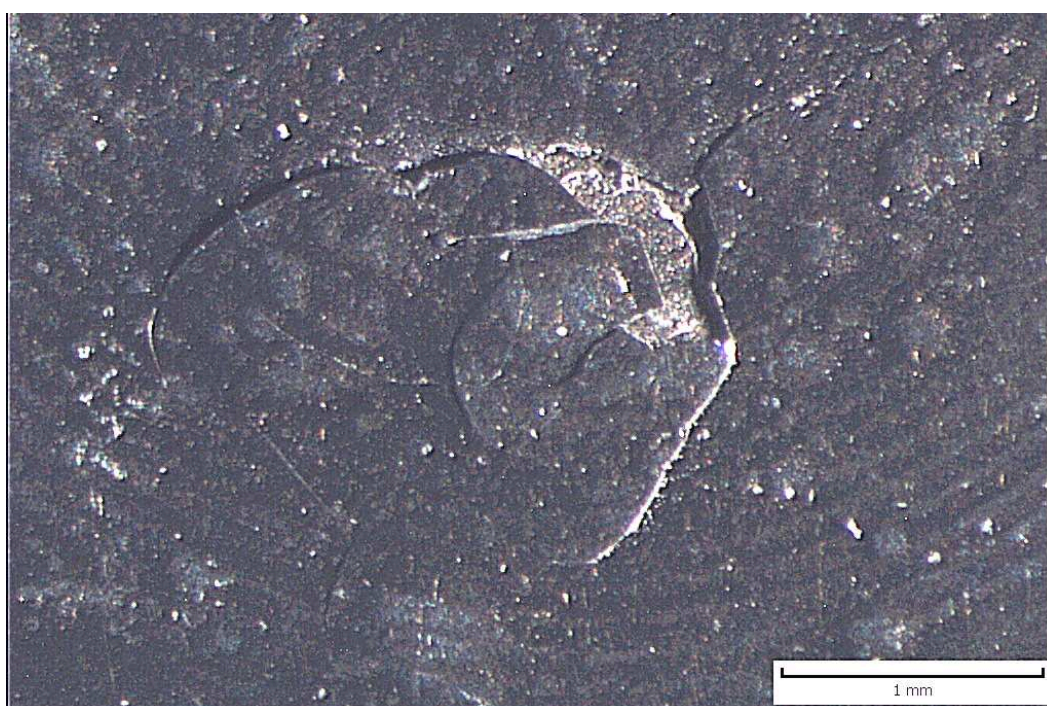
Obr. 13 Koroze tvářené plochy čepu nájezdu ve stavu před zinkováním

Vady Zn povlaku, jež jsou předmětem této práce, tj. puchýře, popř. ztráta přilnavosti povlaku, jsou zobrazeny na obr. 14 a 15. Výskyt puchýřů je nepravidelně se vyskytující vada postihující vždy určité množství kusů z dávky. Jejich výskyt je důvodem neshod nájezdů.





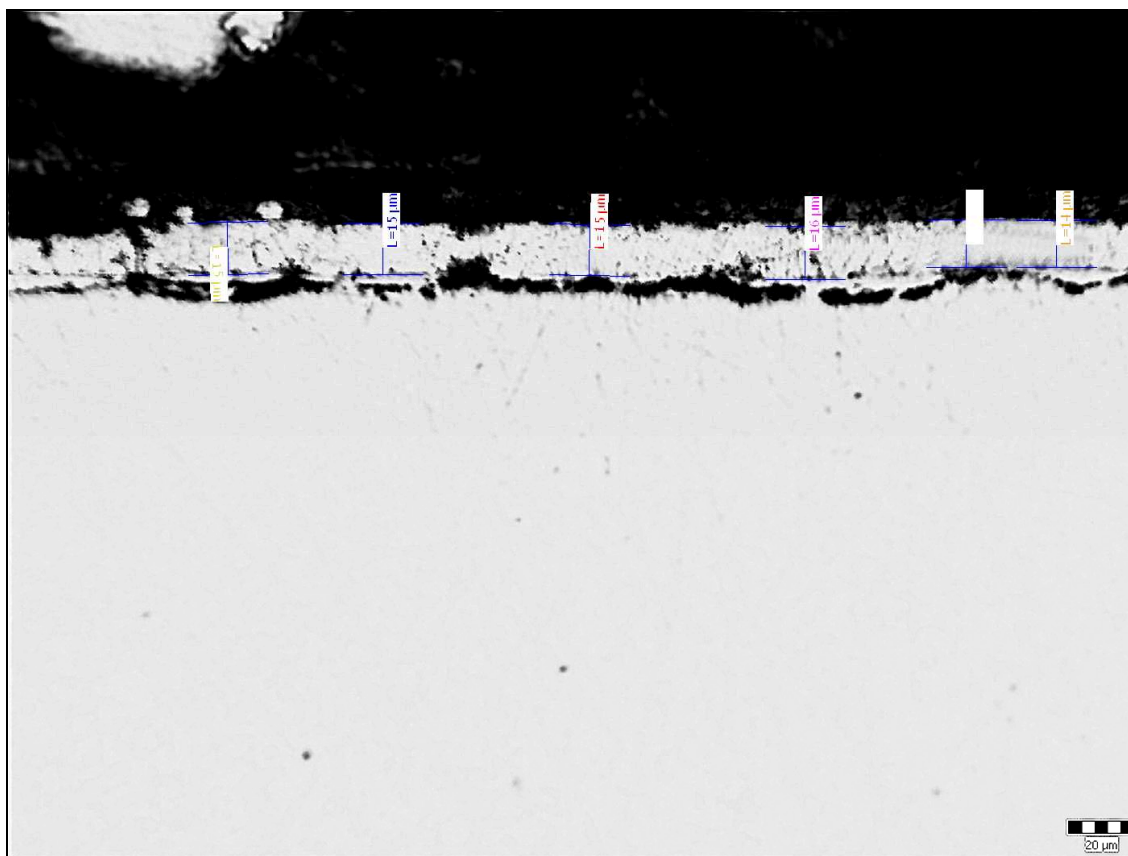
Obr. 14 Puchýře a ztráta přilnavosti povlaku



Obr. 15 Detail ztráty přilnavosti povlaku

### 5.2.2 Tloušťka povlaku

Cílem měření bylo ověřit shodu tloušťky Zn povlaku nájezdu s předpisem. Tloušťka byla určena prohlídkou příčných řezů provedených kolmo k exponovanému povrchu pod mikroskopem. Tloušťka povlaku zinku měřená na roznýtované ploše čepu je cca 15  $\mu\text{m}$  a odpovídá předepsanému druhu povrchové úpravy (ČSN EN 12329 Fe//Zn15//A). Měřené oblasti povlaku ukazuje obr. 16 a tabulka 8.



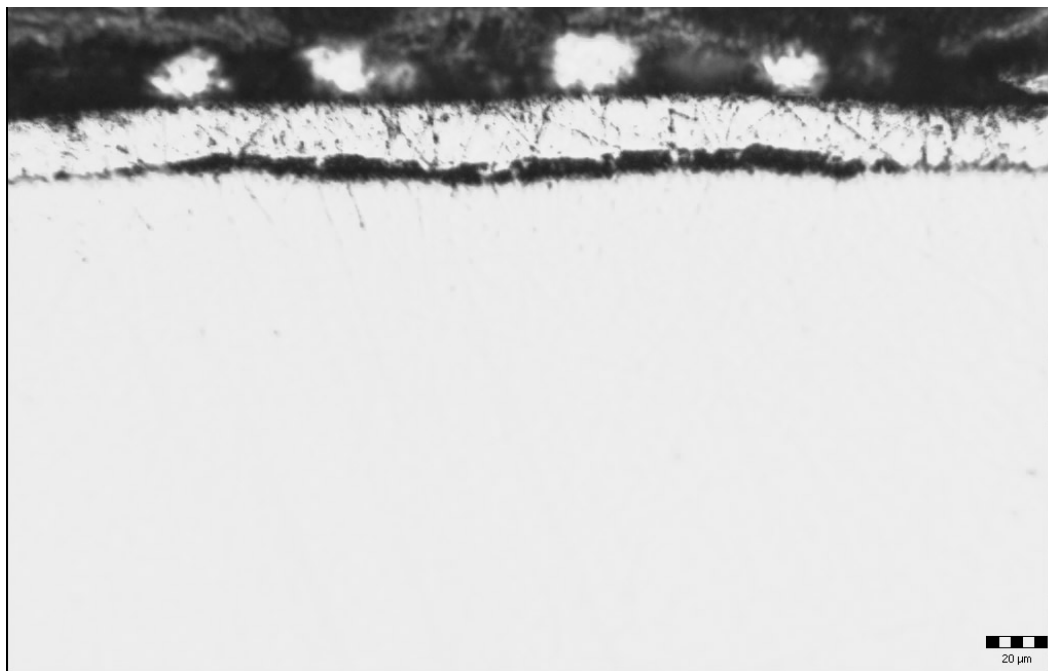
Obr. 16 Místa měření tloušťky povlaku (M 200:1)

Tabulka 8 Naměřené hodnoty tloušťky povlaku

Číslo měření	Hodnota	Statistiky	
1	15 $\mu\text{m}$	Veličina	Délka
2	14 $\mu\text{m}$	Počet měření	6
3	16 $\mu\text{m}$	Střední hodnota	14,8 $\mu\text{m}$
4	15 $\mu\text{m}$	Směrodatná odchylka	0,7 $\mu\text{m}$
5	15 $\mu\text{m}$		
6	14 $\mu\text{m}$		

### 5.2.3 Dokumentace rozhraní základní materiál - povlak

Cílem měření byla kontrola přilnavosti na rozhraní základní materiál - povlak v oblasti roznýtované plochy čepu. Mikroskopická kontrola měla ukázat rovnoměrnost struktury povlaku, přítomnost defektů povlaku, popřípadě přilnavost povlaku k základnímu materiálu.

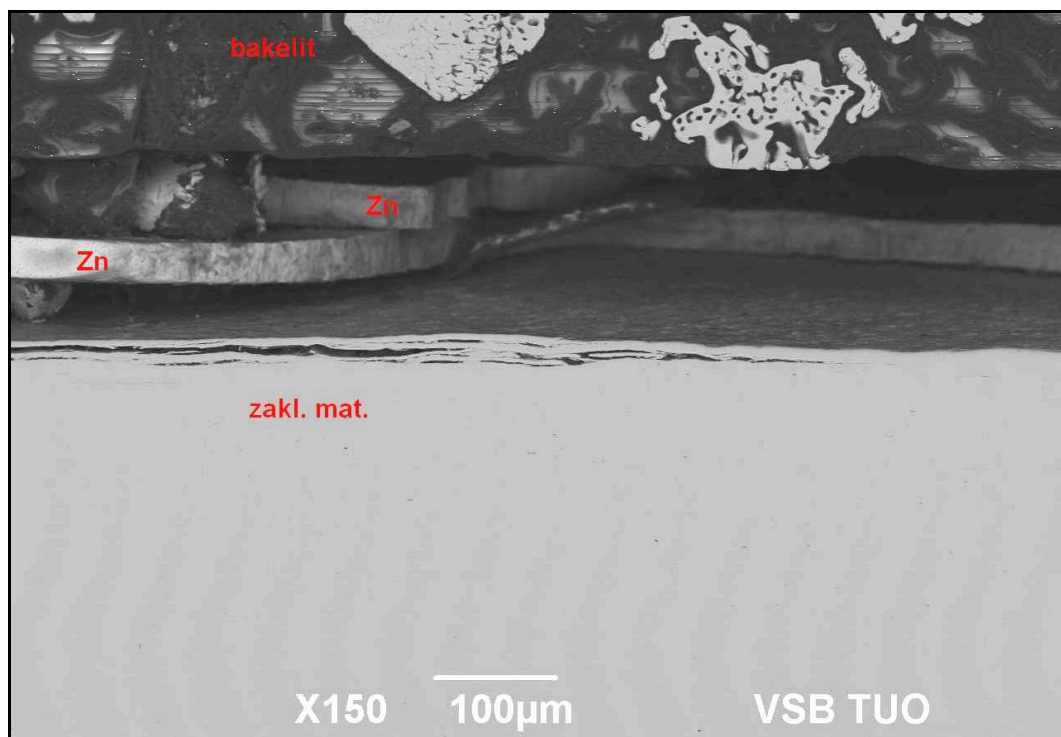


Obr. 17 Struktura na rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (M 200:1)

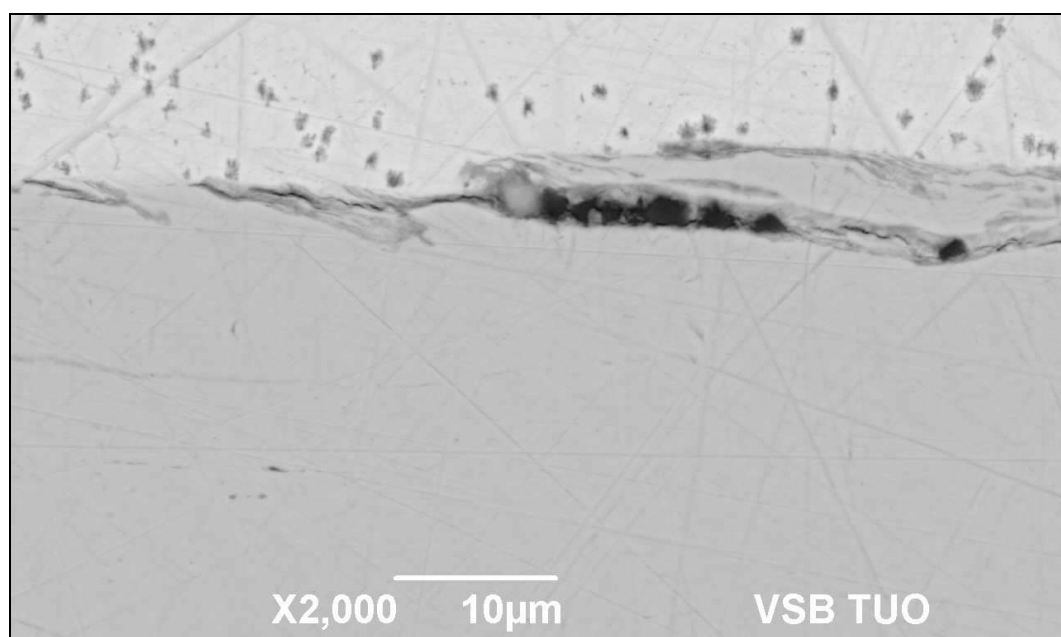


Obr. 18 Struktura na rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (M 200:1)





Obr. 19 Struktura na rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (REM)

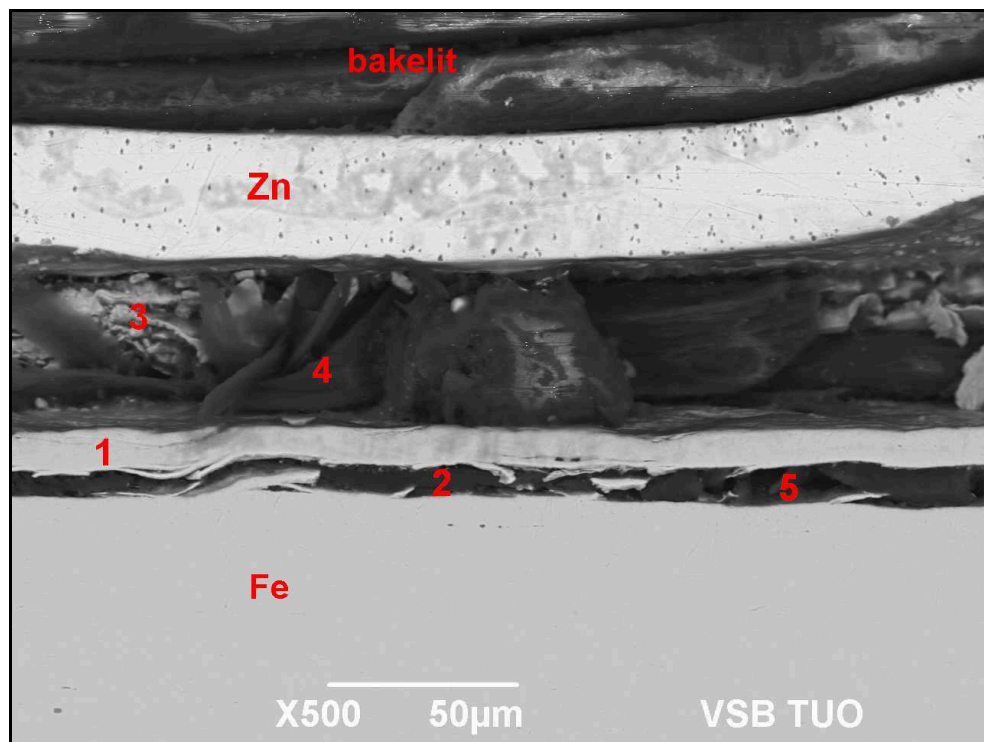


Obr. 20 Struktura na rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (REM)

Na obr. 17 a 18 (Neophot 21, zvětšení 200×) je patrné nepřilnutí Zn povlaku ve sledovaném místě čepu. Na obr. 14 je pravděpodobně puchýř s přechodem nepřilnutého Zn povlaku do oblasti povlaku nepoškozeného, na obr. 18 je vidět trhlina v místě puchýře. Nedostatečná přilnavost Zn povlaku je dobře patrná rovněž z obr. 19 a obr. 20 (REM).

## 5.2.4 Chemická analýza vybraných míst rozhraní základní materiál - povlak

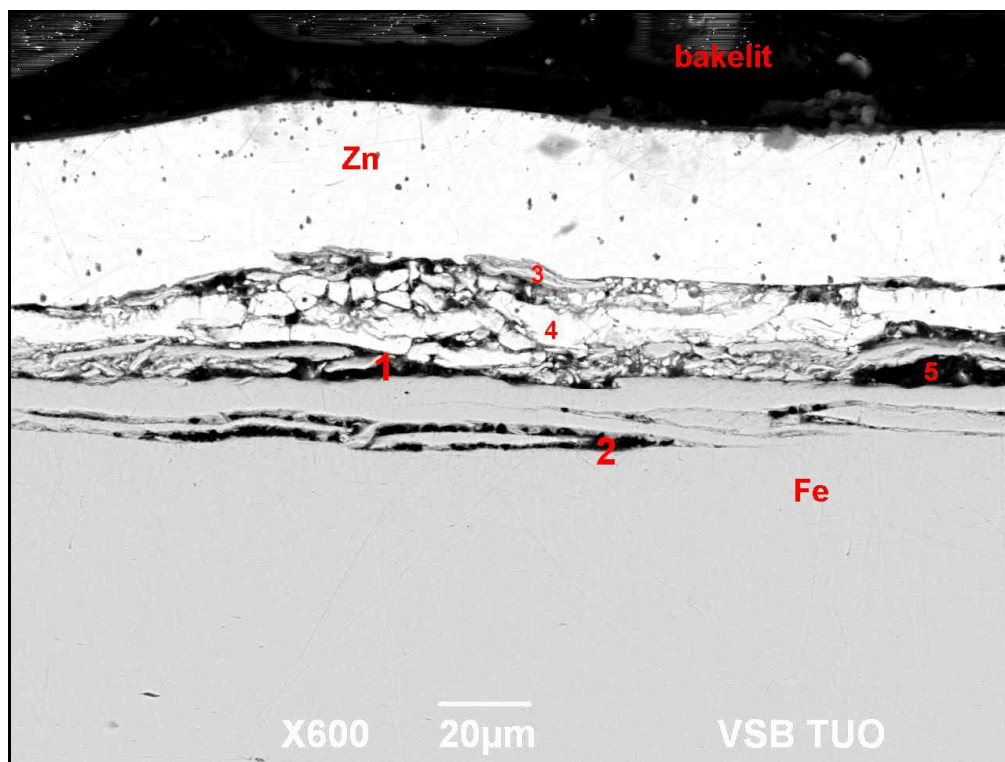
Na vybraných místech rozhraní byla provedena lokální analýza chemického složení (obr. 21 a 22). Jednotlivé měřené oblasti povlaku jsou přehledně očíslovány a hodnoty EDS analýzy ukazují tabulky 9 a 10.



Obr. 21 Oblasti analýzy chemického složení rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku čepu (REM)

Tabulka 9 Chemické složení rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (EDS)

Oblast - materiál	prvek [hmotnostní procenta wt. %]									
	C	O	Na	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn
bakerit	75,52	24,00							0,15	0,33
oblast 1	10,28							0,92	88,80	
oblast 2	64,74	18,91	0,51	2,35	0,17	0,13			13,20	
oblast 3	39,83	7,64		0,27				0,34	33,58	18,35
oblast 4	61,41	17,53		1,80				0,22	16,24	2,80
oblast 5	64,47	14,04	0,29	1,37	0,14		0,10	0,17	19,42	
Oblast - materiál	prvek [atomová procenta at. %]									
	C	O	Na	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn
bakerit	80,66	19,24							0,04	0,07
oblast 1	34,75							0,68	64,57	
oblast 2	77,99	17,10	0,32	1,06	0,07	0,05			3,42	
oblast 3	70,70	10,18		0,18				0,13	12,82	5,99
oblast 4	77,44	16,60		0,85				0,06	4,40	0,65
oblast 5	80,62	13,18	0,19	0,64	0,06		0,04	0,05	5,22	



Obr. 22 Oblasti analýzy chemického složení rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku čepu (REM)

Tabulka 10 Chemické složení rozhraní základní materiál - povlak v oblasti středícího důlku (EDS)

Oblast - materiál	prvek [hmotnostní procenta wt. %]							
	C	O	S	Cl	K	Mn	Fe	Zn
bakelit	75,52	24,00					0,15	0,33
oblast 1	52,81	7,86	0,12			0,26	27,84	11,11
oblast 2	40,83	6,65	1,09		0,15	0,41	49,60	1,26
oblast 3	9,94	10,00				0,62	62,95	16,49
oblast 4		1,83					3,74	94,43
oblast 5	59,52	20,79	1,24	0,28			10,67	7,51
Oblast - materiál	prvek [atomová procenta at. %]							
	C	O	S	Cl	K	Mn	Fe	Zn
bakelit	80,66	19,24					0,04	0,07
oblast 1	79,01	8,83	0,07			0,09	8,96	3,05
oblast 2	71,29	8,72	0,72		0,08	0,16	18,63	0,41
oblast 3	29,11	21,97				0,39	39,65	8,87
oblast 4		7,05					4,11	88,84
oblast 5	75,00	19,66	0,59	0,12			2,89	1,74

Z obr. 18 (případně obr. 19) a EDS analýz je patrné, že na rozhraní základní materiál - povlak je mezi povlakem zinku a základním materiálem rozptýleno množství nedostatečně přilnutých krystalů zinku - oblast 3 (příp. oblast 4) o obklopených zbytky korozních produktů

a organických nebo jiných nečistot - oblast 4 (příp. oblasti 1 a 5). Podobné nečistoty byly pozorovány pod delaminovanou vrstvou základního materiálu - oblasti 2 a 5 (příp. oblast 2).

### 5.2.5 Zkouška korozní odolnosti nájezdů

Byly vyhodnocovány dva vzorky nájezdů GM2. Průběh koroze hodnocených vzorků jsou zřejmé z dokumentace na obr. 23 až 30 a z popisu průběhu zkoušky uvedeném v Protokolu o korozní zkoušce č. 636-01-11 (tab.11).



Obr. 23 Vzorek nájezdu č.1 v dodaném stavu před korozní zkouškou; vizuální vady povlaku, puchýře, nerovnoměrné vyloučení povlaku

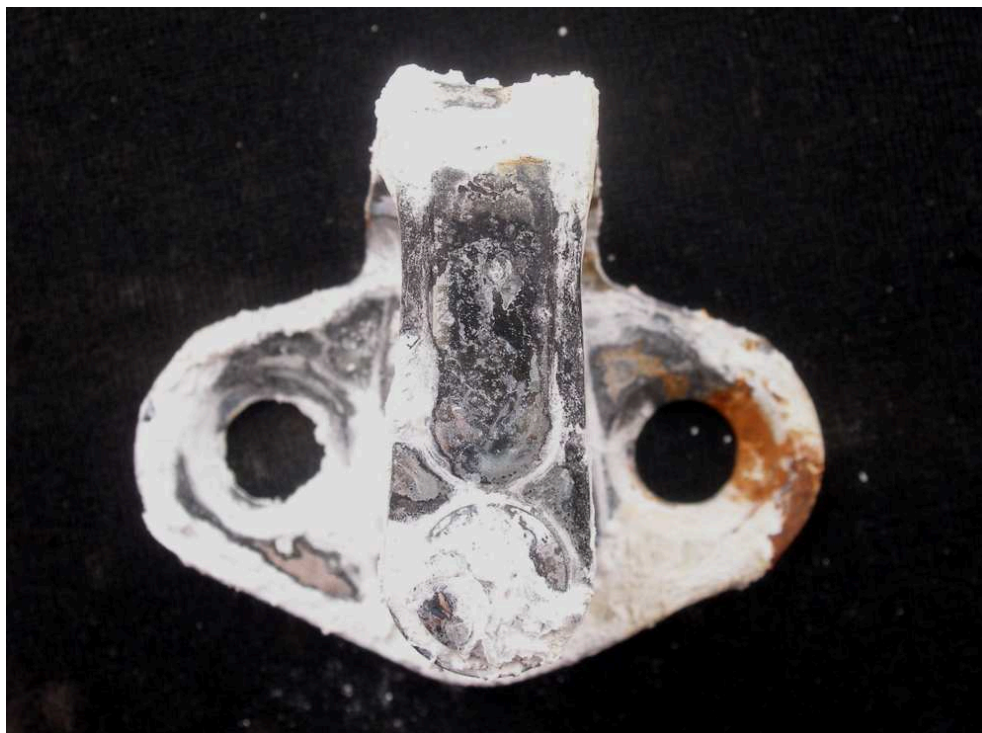




Obr. 24 Vzorek nájezdu č.1 po 52 hodinách v solné mlze; Zn koroze plochy, hran a tvářené oblasti čepu



Obr. 25 Vzorek nájezdu č.1 po 120 hodinách v solné mlze; červená Fe koroze v oblasti po tváření, rozsáhlá plošná Zn koroze objemového charakteru



Obr. 26 Vzorek nájezdu č.1 po 360 hodinách v solné mlze; červená Fe koroze základního materiálu



Obr. 27 Vzorek nájezdu č.2 v dodaném stavu před korozní zkouškou; puchýře, oblasti se špatnou přilnavostí povlaku tvářené části čepu





Obr. 28 Vzorek nájezdu č.2 po 52 hodinách v solné mlze; Zn koroze hran, vizuální změna barevnosti povlaku, černošedé skvrny



Obr. 29 Vzorek nájezdu č.2 po 120 hodinách v solné mlze; Zn koroze hran, plochy Zn koroze objemového charakteru



Obr. 30 Vzorek nájezdu č.2 po 360 hodinách v solné mlze; rozsáhlá červená koroze základního materiálu, objemová Zn koroze

Na výše uvedených fotografiích je patrné, že v místě sledovaného čepu se v průběhu zkoušky vyskytly známky korozní aktivity zinkového povlaku i základního materiálu, ale v mnohem menším rozsahu než na jiných místech nájezdu.



Tabulka 11 Vyhodnocení korozní zkoušky

Laboratoř koroze, Katedra materiálového inženýrství FMMI VŠB -TU Ostrava		
Protokol o korozní zkoušce č. 636-01-11		
Název výrobku: Nájezd GM2, vzorky z 10. 2. 2011		
Povrchová úprava: dle GMW-3044-C 15K 480/120 + 2x Deltacoll (ČSN EN 12329 Fe/Zn15//A + 2x Deltacoll), dodavatel Galvan CZ, s.r.o.		
Číslo výkresu: 1-1-22 354		
Zadání: Provézt korozní zkoušku dle ČSN EN ISO 9227 - metoda NSS		
Zkoušku zadal: Heto		
Doba trvání zkoušky: 120 hod. bez Zn koroze / 480 hod. bez Fe koroze		
Počet vzorků: 2	Počátek zkoušky: 1. 3. 2011 Ukončení zkoušky: 20. 3. 2011	
Výsledky zkoušky:		
dobu zkoušky [hod.]	číslo vzorku	popis vzorku
12	1, 2	beze změn
24	1, 2	beze změn
36	1, 2	první stopy objemné Zn koroze na hranách tělesa v okolí otvorů
52	1	stopa Zn koroze na nýtu čepu v okolí vady povlaku, objemná Zn koroze hran v okolí děr a na ploše ohybu tělesa, počátek Zn koroze v zahloubení
52	2	bílý závoj na nýtu čepu v okolí vady povlaku, objemná Zn koroze hran v okolí otvorů a na ploše ohybu tělesa
72	1	šíření Zn koroze nýtu čepu, šíření Zn koroze hran v okolí děr, šíření Zn koroze na ohybu tělesa, Zn koroze v zahloubení
72	2	koroze nýtu čepu beze změny, Zn koroze hran tělesa v okolí děr, počátek objemné Zn koroze na ohybu tělesa
96	1	šíření Zn koroze nýtu čepu, Zn koroze tělesa na ploše v okolí děr, objemná Zn koroze tělesa na ohybu, šíření Zn koroze v zahloubení otvoru
96	2	koroze nýtu čepu beze změny, Zn koroze hran ramena tělesa, Zn koroze a ploše tělesa v okolí děr, šíření Zn koroze na ohybu tělesa
120	1	první stopa Fe koroze na ploše nýtu čepu, Zn koroze cca 50 % plochy nýtu čepu, Zn koroze na ploše tělesa v okolí děr, objemná Zn koroze tělesa na ohybu, šíření Zn koroze v zahloubení, rozsáhlá plošná Zn koroze objemového charakteru
120	2	Zn koroze na štěrbině nýtu čepu, objemná Zn koroze hran ramena tělesa, Zn koroze na ploše tělesa v okolí děr, rozvoj objemné Zn koroze tělesa na ohybu, Zn koroze v zahloubení
168	1	stopa Fe koroze na ploše nýtu čepu, Zn koroze cca 60 % plochy nýtu čepu, objemná Zn koroze na ploše tělesa v okolí děr a na ohybu beze změny, šíření objemné Zn koroze v zahloubení otvoru
168	2	Zn koroze na štěrbině nýtu čepu, objemná Zn koroze hran ramena tělesa, Zn koroze na ploše tělesa v okolí děr beze změny, rozvoj objemné Zn koroze tělesa na ohybu, šíření objemné Zn koroze v zahloubení otvoru
216	1	stopa Fe koroze na ploše nýtu čepu, Zn koroze cca 60 % plochy nýtu čepu, Zn koroze tělesa v okolí děr, na ohybu, šíření Zn koroze v zahloubení otvoru

216	2	Zn koroze na štěrbině nýtu čepu, první stopy Fe koroze na hranách zahloubení a v okolí jednoho otvoru, objemná Zn koroze hran ramena tělesa, Zn koroze tělesa v okolí děr, rozvoj objemné Zn koroze tělesa na ohybu, Zn koroze zahloubení
264	1	stopa Fe koroze nýtu čepu beze změny, první stopy Fe koroze na hranách zahloubení, Zn koroze na ploše nýtu čepu beze změny, šíření objemné Zn koroze v okolí děr a zahloubení a na ohybu ramene
264	2	Zn koroze na štěrbině nýtu čepu, šíření Fe koroze na hranách v zahloubení a v okolí obou otvorů, stopy Fe koroze na dříku čepu a na ploše ohybu ramene, objemná Zn koroze v okolí děr a zahloubení a na ohybu ramene
312	1	stopa Fe koroze nýtu čepu beze změny, rozvoj Fe koroze na hranách zahloubení a okolí jednoho otvoru, první stopy bodové Fe koroze na ohybu ramene a dříku čepu, rozvoj objemné Zn koroze plochy nýtu čepu, objemná Zn koroze v na ploše v okolí děr, v zahloubení a na ohybu ramene
312	2	šíření Fe koroze ohybu ramene, v zahloubení a v okolí obou otvorů, rozvoj Fe koroze na dříku čepu, šíření objemné Zn koroze ze štěrbin na plochu nýtu čepu, objemná Zn koroze na plochách v okolí děr a zahloubení a na ohybu ramene
360	1	stopy Fe koroze nýtu čepu překryty Zn korozí, Fe koroze na cca 5 % povrchu tělesa (ohyb ramene, plocha zahloubení a okolí jednoho otvoru), bodová Fe koroze na dříku čepu, objemná Zn koroze cca na 75 % plochy nýtu čepu, objemná Zn koroze na cca 50 % povrchu tělesa (okolí děr, ohyb ramene)
360	2	Fe koroze na cca 10 % povrchu tělesa (ohyb ramene, plocha zahloubení a okolí obou otvorů), bodová Fe koroze dříku čepu, objemná Zn koroze na cca 10 % plochy nýtu čepu, objemná Zn koroze na cca 75 % povrchu tělesa
<b>Závěr:</b> Zkouška byla provedena dle pokynu zadavatele. Korozní odolnost povrchové úpravy nájezdu GM2 je bez Zn koroze <b>52 hod.</b> (vzorek č.1 a č.2) a bez Fe koroze <b>120 hod.</b> (vzorek č. 1) popř. <b>264 hod.</b> (vzorek č. 2). Vzorky <b>nevyhověly</b> požadavku <b>120 hod.</b> bez Zn koroze a <b>480 hod.</b> bez Fe koroze.		
<b>Použité podklady:</b> ČSN EN ISO 9227		
<b>Vypracoval:</b> Heto		<b>Datum:</b> 15. 2. 2011

## 6 Diskuze výsledků experimentu

Podle výsledků pozorování na metalografickém a elektronovém mikroskopu je zřejmé, že v oblasti tvářené plochy čepu nájezdů s výskytem puchýřů dochází na ke ztrátě přilnavosti Zn povlaku k základnímu materiálu.

Při korozní zkoušce byly hodnoceny dva vzorky poškozených nájezdů. Výsledky korozních zkoušek prokázaly vliv degradačních vad galvanicky vyloučeného Zn povlaku na rotačně tvářené ploše čepu na odolnost povrchové úpravy proti korozi v solné mlze. V korozním prostředí solné mlhy dochází ke vzniku objemových korozních produktů zinku. Ty se kromě hran tělesa nájezdu (připustná koroze) objevily také na nýtu čepu v místě puchýřů na vzorku nájezdu č.1 po 52 hodinách. Na stejném místě a vzorku se po 120 hodinách objevila stopa Fe koroze základního materiálu. Závažnější byla Zn koroze na plochách tělesa obou nájezdů vzniklá již po 52 hodinách a Fe koroze na dřívku čepu a na plochách tělesa vzniklá po 264 hodinách u vzorku č. 2. V místě sledovaného středícího důlku čepu se v průběhu zkoušky vyskytly známky předčasné korozní aktivity zinkového povlaku i základního materiálu, ale v menším rozsahu, než na jiných místech vzorků.

Podle výsledků EDS chemických mikroanalýz je na rozhraní Zn povlaku a základního materiálu patrná přítomnost nepřilnutých krystalů zinku obklopených nečistotami s podílem uhlíku a kyslíku. Charakter nečistot ukazuje, že se zřejmě jedná o okuje se zbytky kalícího oleje. Proto pravděpodobně hlavní operací, která má vliv na vznik nečistot na tvářené ploše čepů, je operace kalení. Pokud během procesu kalení dojde k narušení ochranné pecní atmosféry a vniknutí vzduchu, na povrchu čepů se rychle vytvoří vrstva okují.

Okuje jsou tvořeny oxidy železa, které intenzivně vznikají během ohřevu materiálu. Okuje je nutné odstranit, aby nebyly během nýtování zatlačovány do základního materiálu. Zamáčknuté okuje znemožňují kvalitní pokovení a snižují mechanické vlastnosti povlaku. Okuje nejsou homogenní materiál, ale jsou tvořeny vrstvami různého chemického složení. Vrstva okují většinou není zcela jednolitá, ale existují v ní větší nebo menší trhliny, do nichž při kalení vniká olej. Odstranění těchto okují má za cíl rotační omílání čepů následující bezprostředně po kalení. Omílání probíhá určitý předepsaný čas, který v případě silnější vrstvy okují nemusí být dostatečný k jejich odstranění. Pokud není tento čas podle technologického postupu a na základě kontroly operace omílání obsluhou prodloužen, nejsou

z hůře přístupného středícího důlku okuje odstraněny. Okuje jsou při roznýtování důlku lisovacím nástrojem s orbitálním pohybem zatlačeny do tvářené plochy čepu a případně překryty přeložkami základního materiálu. Předúpravy prováděné v zinkovně před vlastním pokovením (alkalické odmaštění, moření) jsou sice schopny odstranit běžné zamaštění z výroby, rez a okuje, takto ulpěné nečistoty ale již schopny odstranit nejsou. Tyto nečistoty potom způsobují nepřilnutí povlaku k základnímu materiálu a tvorbu puchýřů.

Možnou operací mající vliv na výskyt vad Zn povlaku na tvářené ploše čepu je také operace odmašťování dodaných čepů. Zbytky mastnot, které mohou zůstat po odmašťování čepů na jejich povrchu, jsou při kalení na čepu zapečeny. Následujícím omíláním nemusí rovněž dojít k jejich odstranění ze středícího důlku. Při roznýtování důlku během montáže nájezdu jsou tyto nečistoty zatlačeny do tvářené plochy čepu se stejnými důsledky popsanými výše.

## 7 Závěr

Při zkoušce povrchové úpravy nájezdů solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227 - metoda NSS byly zjištěny doby odolnosti proti korozi 120 hodin do výskytu koroze základního materiálu, resp. 52 hodin do výskytu koroze zinku (předepsané hodnoty byly 480 hodin, resp. 120 hodin). Výsledky těchto zkoušek mají význam, neboť mohou korigovat odhady korozní odolnosti povrchové úpravy nájezdů v případě vad povlaku vzniklých v důsledku roznýtování ulpěných nečistot v technologicky nezbytném středícím důlku čepu. Problematickými nečistotami jsou s největší pravděpodobností okuje se zbytky kalícího oleje.

Jako zásadní pro omezení výskytu vad povlaku v oblasti tvářené plochy čepu je dodržování stávajícího technologického postupu operace omílání čepů. Ten předepisuje, že v nevyhovujícím případě (zbytky okují) má obsluha prodloužit čas omílání a opakovat kontrolu, popř. zastavit práci. Cílem procesu omílání je připravit čepy pro další aplikace povrchových úprav. K tomu je použito účinného čistícího prostředku a zařízení. Pokud ale není dodržena důsledná kontrola čepů po operaci, nemusí být ani při užívání osvědčených prostředků a technologií výsledek omílání bez chyb. Řešením, které by zcela zamezilo vzniku posuzovaných vad, by bylo zrušení středícího důlku. Dle výrobce čepu je toto nemožné, protože při jeho nepřítomnosti by nebylo možné zajistit jejich požadovanou přesnost.

Uskutečnitelnou možností eliminace nepravidelně se opakujícího výskytu vad povlaku je změna technologie omílání kalených čepů. Při omílání čepů se nabízí použití omítacího prostředku mořícího namísto prostředku pouze čistícího. Takový prostředek (kompound) dodává firma Rösler pod označením FC 410. Jedná se o silně kyselý mořící kompond, který je dle výrobce velmi vhodný pro odstranění okují a rzi. Zůstává otázkou, zda by při použití prostředku mořícího nedocházelo k navodíkování oceli čepů se všemi jeho dopady na povrchovou úpravu nájezdů.

## Použitá literatura

1. KREISLOVÁ, K. Korozní chování slitinových elektrolytických povlaků ZnNi. *MM Průmyslové spektrum*, 2006, č. 4, s. 56-57.
2. FISHER, O. *Fyzikální chemie*. Praha : SPN, 1983. 206 s.
3. CYRUS, Z.; CHOCHOLOUŠEK, J.; KRISTOFORY, F. et al. *Kurz galvanizérů 1. Učební texty a návody do cvičení*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1996. 108 s.
4. RUMML, V.; SOUKUP, M. *Galvanické pokovování*. Praha : SNTL, 1981.
5. KRISTOFORY, F.; SZELAG, P.; TAITLOVÁ, J. et al. *Kurz galvanizérů 2. Učební texty a návody do cvičení*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1996, 144 s.
6. PROŠEK, T. Konverzní a organické povlaky s chromem v oxidačním stavu VI a jejich alternativy. *Koroze a ochrana materiálu* [online]. 2005. [cit. 2011-03-18]. r. 49, č. 2. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/met/aki/kom\\_49/49\\_27\\_33.pdf](http://www.vscht.cz/met/aki/kom_49/49_27_33.pdf).
7. DÖRKEN MKS-SYSTEME GmbH & Co.KG. *Webová stránka firmy Dörken* [online]. [cit. 2011-02-18]. Dostupné z: <http://www.doerken-mks.de>.
8. PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochran strojírenských výrobků*. Praha : SNTL, 1985.
9. KREISLOVÁ, K. Vliv specifických provozních podmínek na korozní odolnost elektrolytických zinkových povlaků. *MM Průmyslové spektrum*. 2010, č.3.
10. KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň : ZČU Plzeň, 2000. 174 s.
11. NOVÁK, P. Druhy koroze kovů. *Koroze a ochrana materiálu* [online]. 2005. [cit. 2011-03-18]. r. 49, č. 4. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/met/aki/kom\\_49/49\\_75\\_82.pdf](http://www.vscht.cz/met/aki/kom_49/49_75_82.pdf).
12. MALÍK, R. Bílá koroze na zinkových povlacích. *Povrchová úprav* [online]. 2006. [cit. 2011-03-18]. r. 3, s. 7-8. Dostupné z: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2006-04.pdf>.
13. ČSN EN ISO 9227 (03 8132). *Korozní zkoušky v umělých atmosférách - zkouška solnou mlhou*. Praha : Český normalizační institut, 2007. 14 s.
14. ČSN 03 8131 (038131). *Korozní zkouška v kondenzační komoře*. Praha : Český normalizační institut, 1973. 8 s.
15. ČSN ISO 6988 (038130). *Kovové a jiné anorganické povlaky. Zkouška oxidem siřičitým s povšechnou kondenzací vlhkosti*. Praha : Český normalizační institut, 1994. 8 s.
16. HOLEČEK, P. Snížení vodíkové křehkosti následným tepelným zpracováním při zinkování, kadmiování nebo chromování vysokopevnostních namáhaných dílů. *Povrcháři*. r. 2008, č. 2.

17. KREIBICH, V., KUDLÁČEK, J. Negativní vlivy povrchových úprav na konstrukční materiály. *Povrchová úprava*. r. 2006, č. 4.
18. TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. - MORAVIA STEEL a. s., Třinec-Staré Město. *Ocel tažená za studena* [online]. 2007. [cit. 2011-03-10]. Dostupné z: [www.ferromoravia.cz/modul\\_dokument/prilohy/473.pdf](http://www.ferromoravia.cz/modul_dokument/prilohy/473.pdf).
19. RÖSLER Oberflächentechnik GmbH, Werk Memmelsdorf. *Technologické prostředky firmy Rösler* [online]. [cit. 2011-03-10]. Dostupné z: <http://www.rosler-povrchove-upravy.cz/tschechien/provozni-materialy.html>.
20. GALVAN CZ s.r.o., Ostrava-Přívoz. *Požadavky na elektrolyticky vyloučené povlaky zinku*.
21. STRUERS GmbH, Willich. *Webová stránka firmy Struers* [online]. [cit. 2011-05-01]. Dostupné z: <http://www.struers.com>.